

目 錄

序 言

- 一、沿岸域之開發利用與垃圾填海
- 二、日本垃圾填海之實例研究
- 三、垃圾壓縮填海之可行性研究
- 四、固體廢棄物填海有關之問題及工程規劃之考慮
- 五、台灣北部地區垃圾填海之可行性初步研究
- 六、廢棄物填海與環境污染之研究
- 七、垃圾填海新生地對水域環境之影響

序 言

台灣土地面積狹小，人口衆多，在現有陸地之發展逐漸受到限制，如何有效利用四周廣濶的海域，提高海域空間的利用成效，將是今後所應努力發展的目標。而沿岸海域之開發，隨著科學的發展與進步，以及人們對海域之關心，使得海域可利用之型態亦呈多樣化，如何使各種利用型態彼此間之利害關係減至最低，同時對環境影響亦不致太大，將是今後沿岸域開發所面臨最重要課題之一。

今年二月十三日，李政務委員國鼎曾召開「海岸地區開發與管理科技座談會，與會人士咸認為海岸問題牽涉許多不同學科與機構，須各方建立共識，合作」推動方可解決，本研討會由環保界與港灣工程界合辦，象徵不同領域的從業人員已經開始合作，來探討海岸開發與管理的問題，實有其特殊的意義。

本次研討會，以垃圾填海處理為主，乃鑒於目前垃圾處理問題日益嚴重，而且陸上掩埋將使得原本即有限之國土空間，失去其應有的功能。因此，若將垃圾填海處理當作沿岸開發利用之一環，加以妥善規劃，相信將與其他方案相輔相成，使國家得到最大的利益。雖然，在目前，垃圾填海處理仍有其問題存在，但希望就經由本研討會所提出的各項問題再深入研究，逐步解決，這就是本研討會的目的。

承蒙國科會，中國土木水利工程學會贊助，台灣省環境保護局之協力舉辦，各主講人撥冗賜稿，本研討會得以順利召開，盼藉拋磚引玉，獲得觀念之溝通，以及各有關單位對沿岸域利用之共識。本所初次舉辦是類研討會，疏漏之處，尚請先進給予指正。

梁 乃 匡 謹識

中華民國七十六年五月

沿岸域之開發利用與垃圾填海

梁乃匡* 王慶福**

一、前言

台灣四周環海，海域面積廣闊，海岸線總長 1139.25 公里，若將其與本島面積相比，則海岸線長為每平方公里 32 公尺，與荷蘭相似。海岸線之形狀，西部多平直之沙岸，東部則為富變化之岩岸，無論係加以開發利用或保存自然景觀作觀光用，如能有效加以規劃，將可使海岸地區與人們間之親和力增加。但由於至目前為止，海岸地區之開發，並無一專責機構負責整體之規劃，使得原本即有限之國土資源未能得到有效之利用，為配合今後土地之利用，經濟之成長，對於富有開發潛力之沿岸海域，須要再予檢討之必要。

因此，本文即在非常有限的資料下，提出有關沿岸域之開發利用構想，希望拋磚引玉，以引起今後對沿岸域開發利用之更進一步研究。

二、海岸現況

台灣的海岸地形，由於大部份呈緩慢上升，且山脈走向及構造線均與島形平行，成南北走向，所以台灣的海岸線一般短促而平直，同時海岸依其升降及海岸岩層組成性質來分大致可分為四種，即東部斷層海岸，西部隆起海岸，北部升降混合海岸與南部珊瑚礁海岸，茲將其分別簡述如下：

1. 東部斷層海岸：大致北起東北端之三貂角，南止恆春半島之南端，整個東部海岸除蘭陽平原及台東縱谷出海處（花蓮與台東附近）為沙岸外，其餘均為岩岸，且係斷層所形成的下沉海岸，而山脈走向與海岸大致平行造成平直的岸壁。而且，由於地勢崎嶇，高山峻嶺直逼海岸，因此亦無廣大腹地可資利用，再加上地形及地質上之不利因素，河流短急，洪水特大，因此目前除蘇澳及花蓮二處開闢為港灣用地外，其餘均利用突出之岬尖，構築小型漁港。

*港灣技術研究所所長

**港灣技術研究所規劃設計組研究員

2.西部隆起海岸：北從淡水河口，南至屏東枋寮，此段海岸在構造上即屬上升海岸，同時，因所濱臨的地區為沖積平原，故幾乎均為沙岸，因此，亦使西部海岸平淺單調，同時，因大河川均在西部入海，所以多堆積地形如沙灘、沙洲，總之，西部海岸之特性為平直之沙岸，屬典型之上升海岸。而西部海岸之開發，除大規模之台中港外，另有一面積達 54,028 公頃之海埔地，現已開發了 5,880 公頃，大部份均作為農地及水產養殖用。所以西部海岸頗具開發潛力。

3.北部升降混合海岸：由東北角之三貂角至淡水河口，此段海岸雖不長，卻最複雜，有岩岸亦有沙岸，是上升也是下降，故稱為混合型海岸，海蝕台地及其上各種奇形怪狀之石為上升現象，而多島嶼、岬角及多深灣即為下沉現象。由於海岸多呈曲折，景色美觀，因此近年來有開發為東北角觀光區之提議，同時由於多岩質灣澳，因此亦多被利用為小型漁港。而基隆港則為最具規模的天然良港。

4.南部珊瑚礁海岸：主要分佈於南部海岸，北部及東部亦間有之，實際上與西部上升海岸為一體，特徵為平直。

所以，目前海岸地區之利用，除作為較大規模之商港開發，才會稍往外海深水處發展外，其餘均僅能依地形條件作小規模的海埔地開發，亦或作水產養殖。事實上，以目前之技術水準，在水深—20 公尺以內，如無特殊因素，均可順利執行。因此，若將水深 20 公尺內作為沿岸域開發之目標區，則台灣地區可資利用的海域面積將相當可觀，所以若今後之台灣地區綜合開發計畫，能將此區域與沿岸陸地視為一體，加以整體規劃，應可發揮其最大效益。亦即如將沿岸域（海域及陸域）視為生活空間之一環，配合海象、氣象、海岸地形等之自然條件，加上土地利用，及產業用地等之經濟條件，進而組合地域文化特性等之人文條件，而設定沿岸域各種類型之單位空間，即可達到理想之開發目標。例如，海岸為岩岸或沙岸須加以考慮，海岸線後之地形亦不可忽視。海岸線後之土地利用，隨利用之不同，對海岸線及沿岸海域之期待及需要亦不同，同樣地，海域之利用形態亦很重要，作為養殖漁場，漁船漁場，航路或港灣之海域，海上旅遊場所，廢棄物之投棄等，應加以考慮。而海岸災害來說，暴潮、颱風、侵蝕等之本質亦需加以掌握，各種因素均需全盤考慮後，才可完成沿

岸域之分類與區分，進而才可發揮地域特性，檢討其應有之對策。

科學之進步能促進人類生活空間之擴大，今後之技術開發，對海洋空間利用之影響有多大，將是很令人感興趣的，但是不管今後技術之進步如何，目前海洋空間可充份利用的仍是以近陸地的沿岸域為主。所以，當前之國土生活空間中所能包容之海洋空間亦應是以沿岸海域為主體。

在有限的國土空間中，為有效並適當地利用貴重的沿岸域起見，對自然條件，環境條件均須慎加調查，以使沿岸域之利用能均衡發展。

三、沿岸域之利用型態

隨著科學的發展進步，以及人們對海域的關心，使得沿岸域之利用型態呈多樣化，特別是對於土地狹小、人口稠密且資源貧乏之台灣來說，沿岸域更是一貴重的資源，更應加以審慎研究規劃適切的利用。但由於目前為止，並無專責規劃單位，更無確定的開發政策，使得利用型態無法確定，同時由於海洋污染等之環境問題，使得問題更加複雜，在此，為配合今後之可能發展，將沿岸域之利用型態加以分為下列五種情形：

1. 與生產有關之利用型態：包括臨海工業區、火力、核能發電廠，海面養殖、石油儲存基地等。
2. 與交通、通信有關之利用型態：包括港灣、漁港、臨海機場、海底電纜等。
3. 與生活有關之利用型態：包括臨海都市之建立、產業廢棄物、一般廢棄物之填海等。
4. 與休閒有關之利用型態：包括海水浴場、人工養灘、海上公園等。
5. 與環境保護有關之利用型態：如設立自然生態保護區、海岸堤防、導流堤等。

此亦即包括漁業、交通、工業、城市（新生地）、休閒、環境保護等，茲將其簡述如下：

(1) 漁業

近幾年來，由於各國 200 浬經濟海域之設定，使得遠洋漁船可作業之漁場日益減少。因此，漁業之發展除應加強近海及沿岸漁業外，更應開發養殖漁業

。目前除在河口及沿岸線附近有小面積之承租或濫墾漁塭外，多為利用自然地形實施淺灘養殖，主要養殖物為牡蠣及蛤蜊。沿岸漁業之發展，最成問題的是海域之污染及與其他利用型態間之調整。隨著工廠排水、家庭排水、及船之廢油等所致之複合污染、產業廢棄物、都市垃圾等引起之漁具損壞，重金屬等之食物連鎖反應而致污染魚之發生，水產物之價值低下等，再加上新生地之構築，浚渫、採沙而使幼魚之生長場所減少，對漁業之直接影響很大。今後除一方面應採取防止污染措施，開發各種公害防止技術外，更應選擇未受污染之淺海域，採用資源培植方式，放置人工魚礁，從事養殖，使成為淺海海底牧場。此外，船舶之大型化，航行量之增加等海上運輸之擴大或休閒及海底資源之開發等沿岸海域之利用愈來愈多樣化，如何與漁業共存將須作進一步之調整。

(2)海上交通

隨著經濟之成長，內陸運輸系統逐漸飽和而出現瓶頸，但由於土地之供給日形短絀，不僅難以取得，即使取得亦不易償付所需之代價，加上能源危機，運輸部門所消耗的能源佔台灣地區能源消費第三或第四位，講求節約，自屬必要。而在各種運輸系統中，以水運的能源消耗最為經濟，所以為適應經濟持續成長，應節約能源，及減輕陸上交通負荷。因此改善目前閒置港灣為重要課題，同時發展環島航運亦將是未來之趨勢。為配合將來台灣四周沿海航線之完成，航線與港埠設施之整建，沿海航路之整理將是重要之事。

(3)新生地

對於土地狹小的台灣來說新生地的開發，不僅可提供一寶貴的土地，同時更可作為發展各種產業之基礎，以確保有限之耕地。而目前新生地之開發，除較大規模之台中港外，其餘由水利局統籌規劃及開發，作為農業用地及水產養殖用為主，其經濟成效較低。但隨著都市化及工業化之發展，將來對新生地之需要及期待亦將愈來愈高，如作為臨海工業區、發電廠、臨海城市、廢棄物之處理場、港灣及機場等。總之，目前在陸地上已愈來愈難覓得之場地，利用新生地之開發，將可為日益擁擠之土地，找到一有效解決方案，同時亦可保全海岸。通常隨著都市化及工業化之發展，將會使得構築新生地之速度加快，規模變大，因此亦使得其對社會及經濟之影響效果變大。但海岸線卻也因新生地之構築，使得其原本具有的功能及其所給予人們之安逸感也隨之消失，海岸景觀之

改變，海洋生態之混亂，海水浴場之消失，海岸水理特性之改變等，使得水質及底質惡化，造成海域污染之結果。

所以因新生地之構築所產生對環境及漁業之影響應加以詳細檢討。

(4) 旅遊休閒

隨著生活的改善及經濟水準的提高，今後國民休閒旅遊所占之比例將逐漸增高，同時因休閒旅遊活動能提高國民生活素質及生產力，所以對國家經濟發展有很大的助益。但目前人口集中在都市，因都市及工業發展可開發的面積受到限制，因此，今後之發展除丘陵地及山林之開發外，更應將重點置於富有變化的沿海一帶。岩岸或沙岸及珊瑚礁分布之海域均可供發展水上活動及海底公園，以多元化之開發滿足各種需要。

(5) 環境保護

沿岸域之開發利用對環境之影響，須由自然環境到經濟層面及社會層面，站在整體立場加以評估。同時，因開發利用所造成對生態環境之影響預測也應加以調查與研究。

由於生產及消費活動的擴大，各種污染物質遠勝於自然之淨化能力，大量被排出之廢水，影響大海之環境造成了污染，今後隨著人口增加，經濟及社會活動之擴大，污染物質將增大且呈多樣化。如果不加以防範，污染將愈來愈嚴重，如果海域之污染無法加以先行防範，就無法如願地完成沿岸域之利用。為有效防止海域之污染，有關工業廢水之規定須加以強化，水中污泥之去除等惡化之底質的改善及下水道之整理以及改善家庭排水的污水處理設施之普遍化，船舶廢油處理設施之改進等，均需綜合考量進行。

此外，對污染的科學測定法及污染防制技術之開發等均應加強。

為使環境保護能達到理想之境界，自然須付出與此相等之代價，但如要使已失去且被污染之環境回復原狀所須付出之代價將遠超過保護之代價。

四、沿岸域之開發

沿岸域之開發，首先應考慮的問題為待開發地區之特性及其問題，如台灣可利用之土地大都集中於沿岸之狹小平原上，而為配合未來人口之成長，都市及經濟之發展等，可加以利用之沿岸域即應加以多目標之開發。而隨著利用之增加及集中，因而利用的大規模化及範圍廣域化，將對環境的影響加大，同時

與各種傳統之利用產生衝突之情況也會愈形尖銳。另外，如有新型的人工島亦或海上儲油基地等現所未有的利用型態出現，所引起的法規上的未完備等，均是今後應加以協調處理之事。

海域之開發不同於陸地，在目前陸地之開發，大原則有台灣地區綜合開發計畫，細節又有各地之都市計畫等，均有一定的方針與法規，但海域之開發，特別是以空間利用之觀點來看，對空間資源的適當分配及利用調整等完全缺乏根據。僅有的港灣計畫亦係以港灣區域內之水域為對象，作為港灣綜合發展之目標。而對於在一般之水域中，此港灣區域所佔有之妥當性亦無一可依循的規範。再加上陸地計畫之制定，可由各縣市政府自行決定，但海域若再委由各縣市政府自行規劃，則將使沿岸域之開發前途更暗淡，因對利用之協調等廣域之利用並非縣市政府所能作到的，因此有關海域利用計畫之策定該以如何的評估標準及方法來進行，為重要之課題。

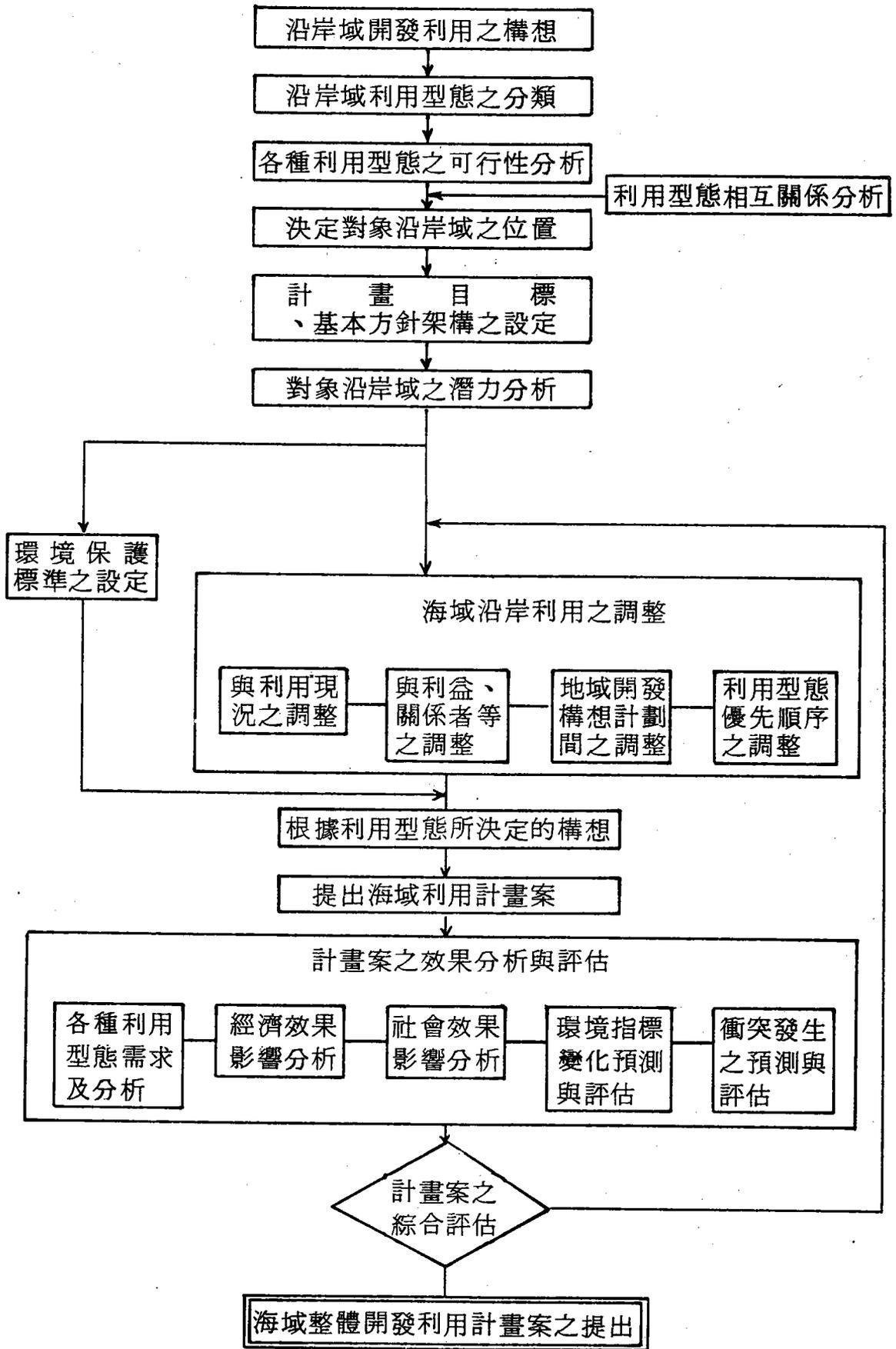
所以為達到沿岸域之開發利用目標應作到

1. 有關沿岸域之基礎資料的蒐集與分析其特性。
2. 對海域利用之需要性，須達成共識。
3. 應進行多方之協調。
4. 須確立有關沿岸海域利用之整體計畫。
5. 根據海域整體開發計畫進行適當的管理制度。

因此海域整體開發計畫之制定程序建議參考下圖：

五、沿岸域之利用與災害防止

台灣由於位於東亞地帶，氣象狀況受東亞氣團活動之影響，夏秋季多颱風，秋冬則盛行東北季風。而因颱風所引起的災害有強風、豪雨、暴潮、而其中影響沿岸地區最大者為暴潮及波浪，暴潮又稱氣象潮，台灣的暴潮都是由颱風所造成的。影響暴潮之大小，因素有三，即氣壓、風速、海底地形，而台灣之濱海地區常因颱風浪潮造成海水倒灌，使得濱海或沿河低窪地區淹水，尤其因海水倒灌，使洪水無法渲洩入海，更造成河堤崩決，洪水氾濫成災。目前台灣之西北部、東北部、中部及西南部濱海地區是較常發生此種災害的地區。此外因颱風所產生之巨浪，造成沿岸海堤之崩決，影響海邊住家之安全等，因此在開發



利用沿岸域時對此須加以詳加調查，研擬對策。

此外，海岸之侵蝕亦是影響沿岸地區之重要因素。海岸侵蝕簡而言之，即為砂源之供給與流失不平衡時所產生的。通常提供砂源之河川改修亦或砂之採取及構造物之設置等，使土砂之供給無法順利亦或由於風浪等使砂被大量淘去時即會發生。而隨著經濟活動之增加，水壩之興建、土木工程之增加以致骨材採取或港灣及漁港之整建等，均對自然界砂之供需平衡給予很大的影響，而使得海岸受侵蝕逐漸後退，影響住民生計。

因此，所謂海岸保護設施即是如海堤及護岸等，以直接阻止波浪侵入陸地，以及如突堤、導流堤、潛堤及養灘等以抑制砂之移動，防止海岸破壞為目的之設施。

所以海岸保護設施在建造時，不僅應從安全性及經濟性加以考慮，更應由海岸線及海域利用之觀點綜合加以檢討而決定適當的構造物及配置。

如此，不僅可解決沿岸之災害，同時可使沿岸域之開發達到防災的效果。

六、沿岸域之開發利用與垃圾填海

由以上所述有關沿岸域之開發利用型態及今後之可能需求動向加以綜合整理可知，規模較大且比較容易注意到的為作臨海工業區、海面養殖、港灣、漁港、臨海都市、海水浴場、海釣與遊艇以及自然景觀。而量雖少但長遠來看將很重要的為作發電廠、石油儲存基地、海上機場、產業廢物、工程廢土及一般垃圾之填海等計14種利用型態，由於本文係以目前面臨最迫切之一般垃圾處理為主，因此以下即針對此加以說明。

隨著工商業之發展及都市化之結果，垃圾產量亦逐年大增，而都市中可供垃圾處理之用地卻日趨減少，垃圾處理問題乃日趨嚴重、雖然目前以焚化加以減量，並有各種垃圾再生利用等研究，但由於最後所須加以處理之量仍相當大，所以最終之處理仍以土地掩埋為依歸，而陸地掩埋卻也因都市化之進展，能容納大量之合適處理場所卻也日漸困難。所以對未來而言，海上掩埋將是可期待的趨勢。特別是對本省而言，可供租用之農場低窪地等有其終極限度，而市區又無窪地或山地可供掩埋之用，即或有之，將來對該地區之環境影響將妨礙該地區住民之生活品質。因此目前各地垃圾場難求，焚化處理雖為目前之應急措施

但焚化後之灰燼與加以減量之不可燃物仍需有適宜之掩埋場，所以垃圾填海將是未來最理想之處理方式。

所謂垃圾填海為求使用年限之延長，所填之垃圾並非指生垃圾而是經過處理減量後之垃圾，同時為避免投資過鉅，垃圾填海之處理場，應配合港灣之建設，亦或其他沿岸域之利用，以海岸整體利用之觀點加以考慮。

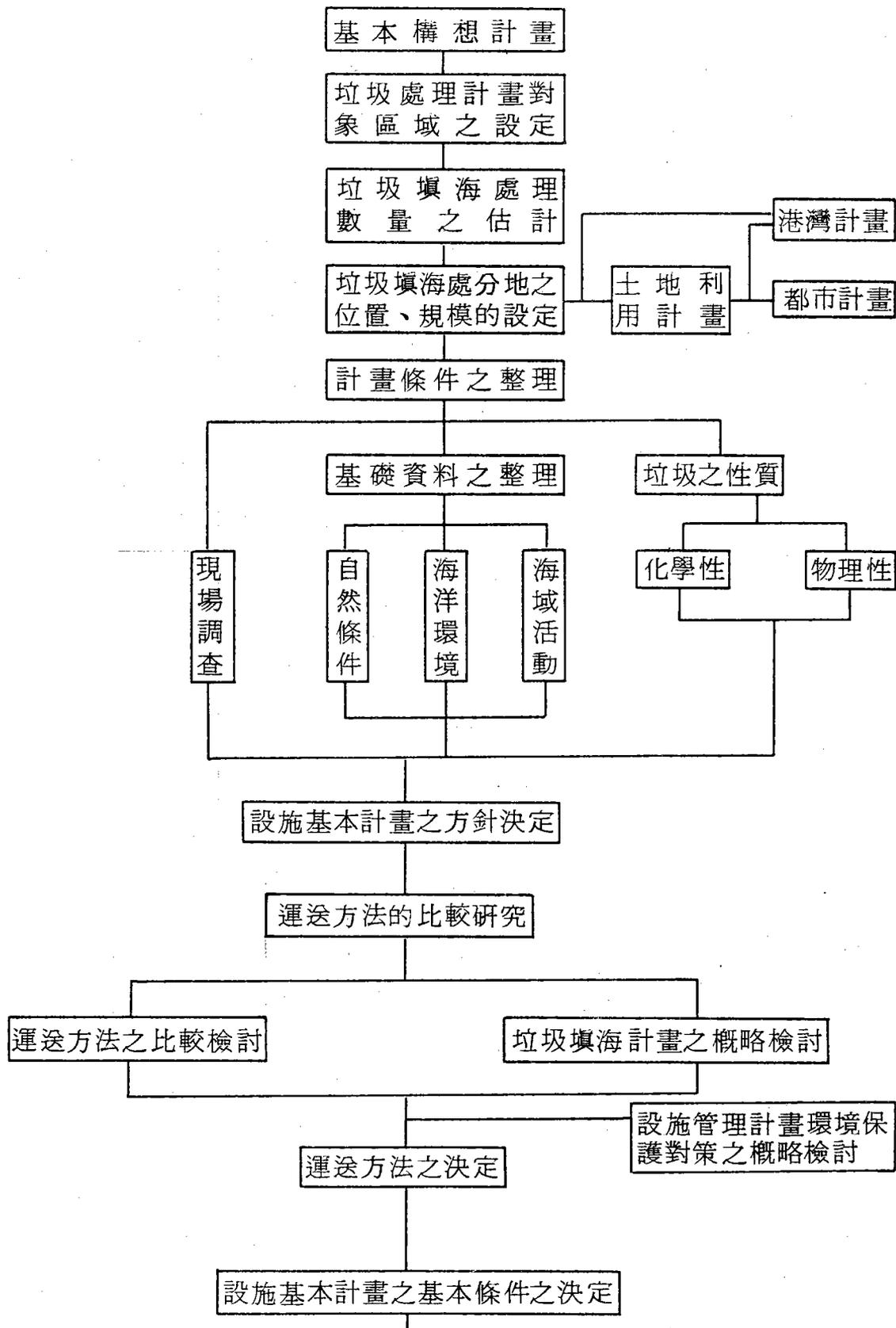
目前台灣地區垃圾填海之處理均以海岸之衛生掩埋為主，同時利用之範圍亦屬海岸岸邊為主，因此產生之問題即為投資效益不高，亦即使用年限太短。本文在此不擬對垃圾填海之經濟效益進行分析，只是對垃圾填海時所應注意之事項加以論述。

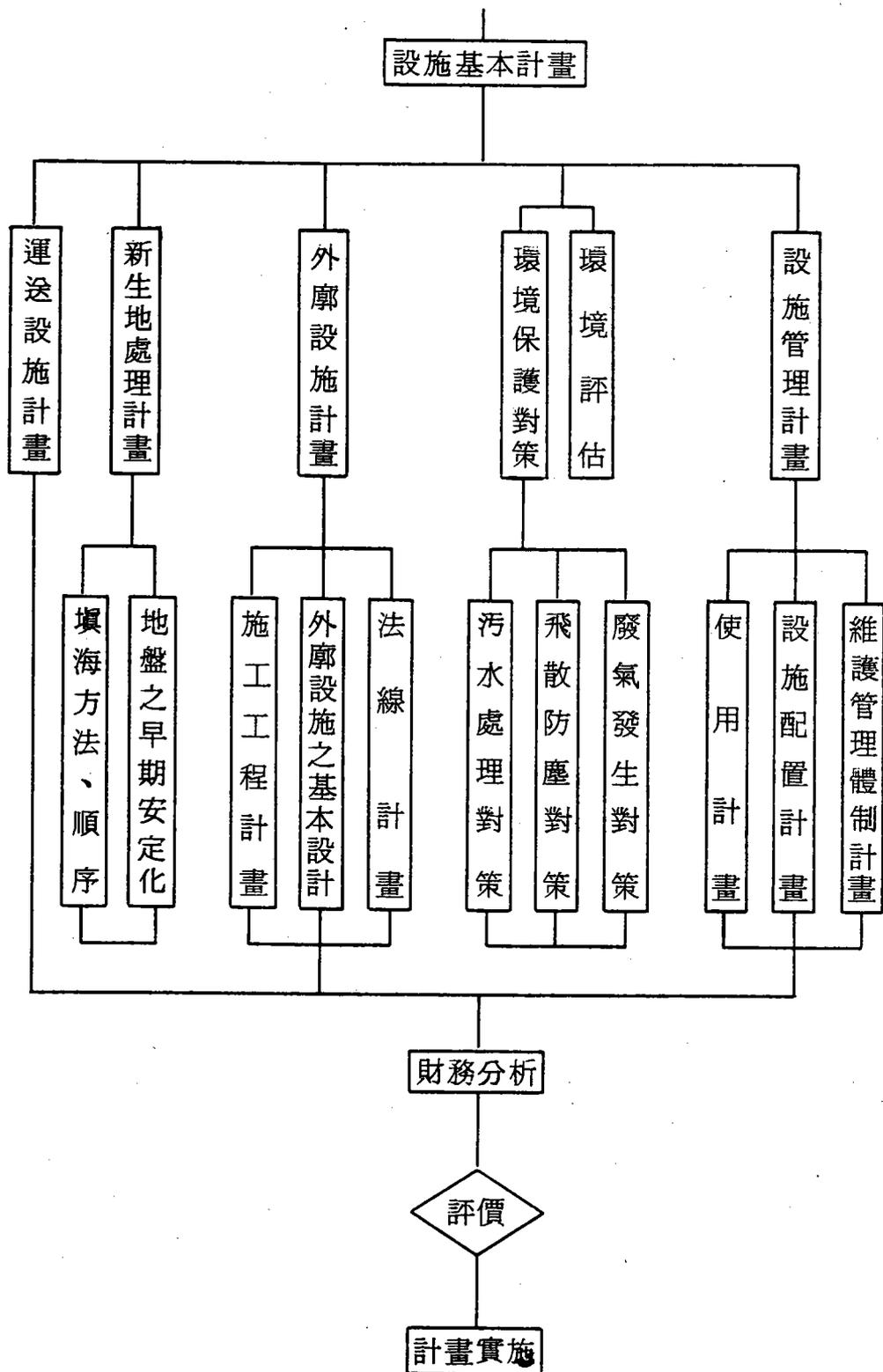
雖然以目前之技術水準，在海上構築適當的構築物以填放垃圾並無困難，但為防止各種公害之發生，下列各項應加以特別留意：

- 1.防止垃圾的流出：護岸必須堅固耐震，並且不允許越波，使海水無法進入，同時垃圾亦不外流。
- 2.防止污水的流出：由於垃圾掩埋後，在垃圾分解之過程中會有垃圾滲出水之產生，因此除應設置污水調整地，以處理滲出水外，護岸亦應具有水密性，以防止污水滲出，同時使海水不滲入。
- 3.臭味蚊蠅及火災發生：應實施完全衛生掩埋，以每 3 公尺之垃圾層進行 50 cm 的覆土，並經常噴灑殺蟲劑。
- 4.廢氣排除：設置有孔通氣管。
- 5.設置鐵絲圍籬：以防止紙張、塑膠帶隨風飛揚，此外水域周邊並應配置水上清潔船，以進行垃圾收集。（如係焚化後之灰燼壓縮後之垃圾或產業廢棄物，則不必考慮此問題。）

此乃處理之基本原則，至於實際進行垃圾填海之計畫之流程，則請參考下圖：

以上之流程，僅為提供規劃者參考，事實上，目前台灣地區垃圾填海政策之不易推行，最主要係因為認為垃圾填海之經費與陸地掩埋相比過鉅，加以工程較艱鉅，以致不易推行。當然，如果係由純經濟之觀點來看，此說並沒錯，但如果由整個國家之土地利用而言，陸地掩埋，將使內陸土地少去一塊，但填





(本流程圖摘錄自日本港灣顧問公司，廢棄物處理對策室)

海則將增加一可資利用之土地。我們並不贊成只爲垃圾填海來利用海域，但若配合海域之開發利用，如在作港灣時，亦或濱海工業區時，亦或其他之利用時，能爲垃圾預留一處理之空間，亦或先爲垃圾尋求一理想之海域處理空間，再配合其他之利用型態，整體規劃，相信，所謂之填海成本亦將降低很多。台灣地區，垃圾處理之最終歸宿，我們以爲將來一定會往海域發展的，爲配合將來的需要，現在即應開始進行各種方案之研究，才不致產生海域空間使用之浪費。

七、結論建議

由於目前本省並無大規模的沿岸域整體開發計畫，同時，對沿岸域之開發亦仍只限於海埔地之利用，爲使此寶貴的沿岸域將來能達到爲國民全體提供作爲經濟發展之基礎，因此，在作沿岸域之開發時，務必以長遠的眼光加以考量。而在檢討沿岸域之綜合利用時，往往會產生保護與開發及利用之衝突，已開發者與未來計畫間之調整及各種利用功能相互之競爭，此將會產生許多人爲的阻撓因素。爲減低此種因素及減輕將來開發阻力，在目前即有須要針對台灣四周海岸進行先期規劃作業。在目前最重要的，並非立即決定開發利用之型態，而是應先將台灣四周海岸加以分類，以決定大概用途區分，以免濫于開發，造成爾後不可收拾之後果。在此將海域劃出四種用途以供參考：

1. 保護海域：嚴格限制使用，而須加以保持現況之區域。
2. 半保護海域：准許有限度開發之海岸。
3. 積極開發利用海域：針對現階段之需求，且已開發之地區，集中此區域開發。
4. 未來利用開發海域：配合將來之需要用以調整需求之海域。

沿岸域之開發，雖有很多問題存在，但對未來而言將是一很具發展潛力之地區。爲達到有效的開發，建議賦于某一單位負責計畫之構思，並應從速建立台灣四周之海氣象基本資料，及有關人文與經濟發展資料，以利各種計畫之推行。而最重要的是各有關機構對海域利用之共識，將是今後從事海洋開發所不可缺乏的原動力。

參考資料

1. 行政院經建會：「台灣地區綜合開發計畫」
2. 台灣省水利局：「台灣西海岸海埔地開發規劃概況」
3. 台灣漁業技術顧問社：「台灣漁港興建概況及未來展望」
4. 運輸省港灣局：「21世紀への港灣」
5. 研靖丸・今野修平：「沿岸域開發計畫」
6. 中華顧問工程司：「高雄地區區域性垃圾綜合處理計畫」

日本垃圾填海之實例研究

謝錦松*

摘 要

日本島國地狹人稠，因在陸地要取得垃圾掩埋場逐漸困難，於是促使其開發出「利用海岸及海面築堤以掩埋垃圾之新技術」。以此方法處理垃圾，不但可以紓解其垃圾處理之壓力，更可配合區域發展及港灣建設，拓建新生地，增加土地之利用。本文係以日本垃圾海岸衛生掩埋之實例，介紹其如何利用四週環海之地理優勢，慎選適宜地點輔以完善之公害防治設施，以闢建垃圾填海場地。

*台灣省環境保護局副局長

一、前言

日本因國土狹窄，人口密集，每日產生大量的垃圾亟待處理，為尋求適當之處置方式，遂發展出「垃圾海域衛生掩埋法」。垃圾之海域衛生掩埋，並非海邊投棄亦非岸邊掩埋，而是有計畫的以工程技術與海洋爭取空間，用垃圾填成大面积的海埔新生地。台灣目前垃圾處理之主客觀條件，與日本境遇頗多相似，因此，吾人深覺日本在垃圾填海造地工程方面實有獨到之處足可供吾人借鏡。日本政府對海域衛生掩埋計畫十分周密，且每一項計畫都是大規模的、長期性的（十年以上），並由中央政府主動推行區域性處理，不論是靠岸式或離島式海域衛生掩埋，均配合港灣碼頭計畫，工業區計畫或國宅計畫等同時進行，各方面密切配合，相互支援。例如：運輸省每年港灣廢棄物處理事業費中，均配合編列垃圾填海造地分擔護岸費用，每年在二百億日圓以上，對垃圾海域掩埋計畫助益甚大。

二、日本垃圾填海實例解析

茲以三個實例介紹日本目前規劃及執行中之垃圾海域掩埋工程，即東京灣中央防波堤、大阪灣北港廢棄物掩埋場及川崎浮島廢棄物掩埋場。

(一)東京灣中央防波堤衛生掩埋場

東京灣之利用沿海土地作為垃圾掩埋使用，可追溯至西元1927年開始，最初僅利用八號地，其後逐漸擴展延伸，至1955年起開始使用新砂、夢之島及十五號地，1973年起，則又闢設中央防波堤內側、外側衛生掩埋場，計畫使用期限至1991年，距今仍尚有五年的掩埋空間，此等防波堤衛生掩埋場對紓解東京都垃圾最終處置之壓力功不可沒。東京灣歷年來設置及使用中之垃圾掩埋場概要列如附表一及圖一、二。

防波堤衛生掩埋場之護岸工程型式係利用二重鋼板樁護岸（如圖三），於海灣內遠離海岸處築海堤護岸，再掩埋垃圾築成新生島。因填海地區海底地層大多為軟弱地盤，易受沿岸流、潮汐和地下滲流等影響，故其基礎均加以特殊處理，對軟弱地層予以挖除，並以設置排水砂樁方式，以加強基礎強度。板樁內部則用浚渫方式將海水連同海砂抽入堤內，海砂再經滾壓覆蓋及表面保護等措

表一、東京灣垃圾掩埋場概要

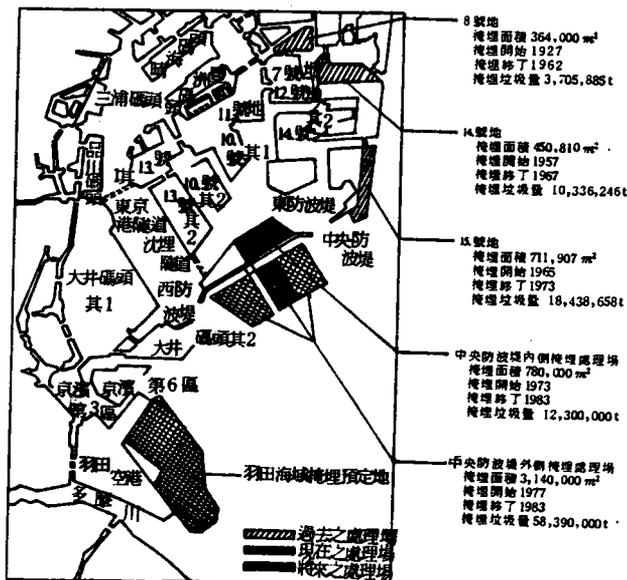
名稱	掩埋面積		掩埋開始	掩埋終了	掩埋垃圾量 (Ton)	建設費
	總面積	掩埋面積				
8 號地	m ² 502,000	m ² 364,000	1927 年	1962 年 12 月	3,705,885	—
14. 號地 (夢の島)	m ² 457,860	m ² 450,810	1957 年 12 月	1967 年 3 月	10,336,246	
15. 號地	m ² 808,260	m ² 711,907	1965 年 11 月	1973 年 11 月 ※ (1974 年 5 月)	18,438,658	
中央防波堤內側	m ² 1,060,000	m ² 780,000	1973 年 12 月	1986 年 3 月	12,300,000	約 290 億圓
中央防波堤外側	第 1. 區	m ² 770,000	1977 年 10 月	1991 年 3 月	49,520,000	約 231 億圓
	第 2. 3. 區	m ² 1,220,000	1979 年 5 月			
	第 4. 區	m ² 1,150,000	1983 年 4 月	1990 年 3 月		
	計	m ² 3,140,000	—	—		
羽田海邊	m ² 4,700,000	m ² 4,700,000	1977 年 4 月	1986 年 3 月	24,170,000	—
羽田海邊擴張部	m ² 3,370,000	m ² 3,370,000	1986 年度 (1991 年 3 月	31,110,000	

※自行運入垃圾掩埋區已封閉。

註 1. 中央防波堤外側第 3 區，從 1981 年 10 月開始掩埋一般廢棄物。

2. 中央防波堤外側第 4 區，從 1986 年開始掩埋一般廢棄物。

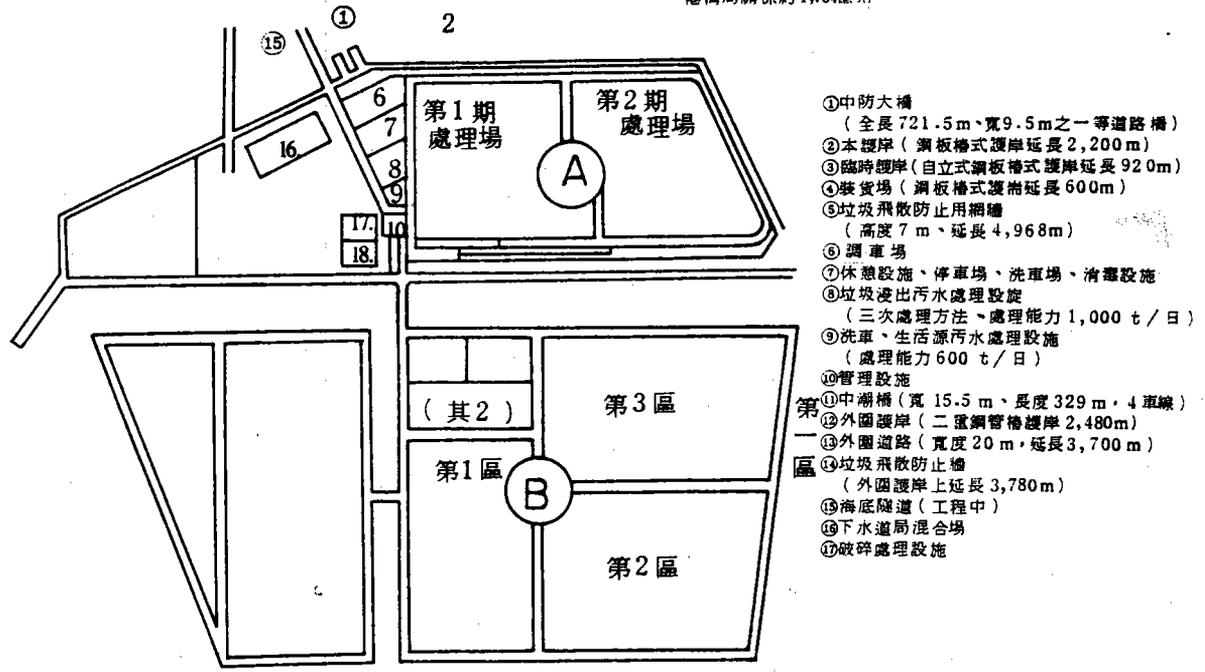
3. 羽田海邊 從 1984 年 4 月開始掩埋一般廢棄物。



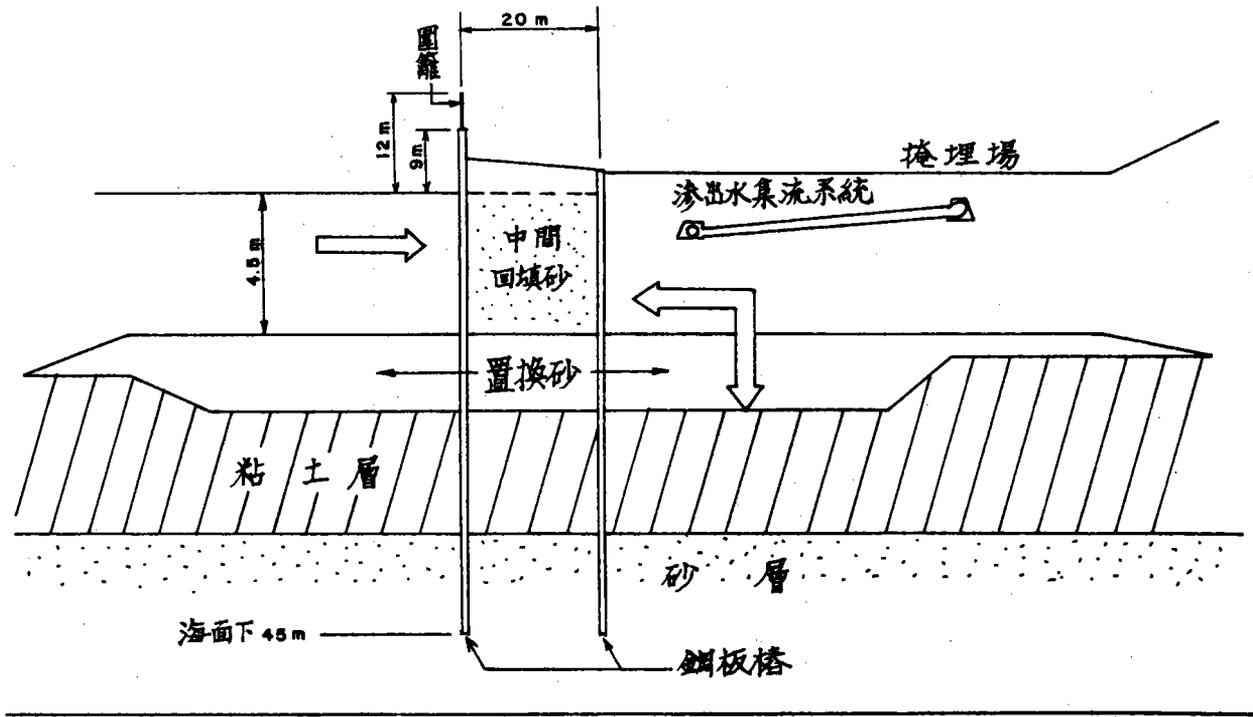
圖一、東京灣掩埋處理場之位置及變遷圖

A、中央防波堤內側掩埋處理場
 面積：約106ha
 掩埋面積：約78ha
 掩埋容量：約1,100萬 m^3
 建設費：約290億元（清掃局關係約160億元、港灣局關係約130億元）

B、中央防波堤外側掩埋處理場
 面積：第1區約77ha
 第2、3區122ha
 第4區約115ha
 掩埋容量：第1區 1,500萬 m^3
 第2、3區 3,200萬 m^3
 第4區 1,100萬 m^3
 建設費：約2,317億元（清掃局關係約553億元、港灣局關係約1,764億元）



圖二、東京中央防波堤平面圖掩埋處理場之概要



施而成護堤，兼作場區道路之用，外堤原高於平均海水面約 9 m，但爲了防止垃圾之飛散又另加以 3 m 高之圍籬，護堤內部即作爲垃圾掩埋場地，依垃圾性質分區掩埋，並於垃圾掩埋場內埋設集水管，收集垃圾滲出水抽送至調節池進行曝氣處理。經二級處理後，排入污水下水道系統，污泥則脫水後送污泥掩埋區處置。

中央防波堤內側衛生掩埋場自 1973 年啓用，規劃上原只供掩埋東京都十三座焚化廠之灰燼及不燃物（如金屬、瓶、罐等）掩埋之用，但實際上每天進場掩埋之廢棄物（包括部份生垃圾）已超過 9361 公噸，約 5,000 車次以上。爲求減少運送途中所造成之公害，除闢有長約 1 公里之專用海底隧道，可直接通往防波堤內側掩埋場。並在港口設置五處船舶垃圾轉運站，有 33 % 的垃圾經由船運，其餘 66 % 則以車輛運送，目前東京都之垃圾收集與運輸至處理場工作，已部份開放民營，尤其輸送工作均盡量委交民間合格之運輸公司代運。

在掩埋場區內另設有粗大垃圾破碎處理廠一處，以破碎大型之垃圾，其規模甚大每天可處理 540 公噸粗大垃圾，佔地約 35,000 m²，破碎後可燃性垃圾送至焚化廠焚化，不燃性及不適燃燒垃圾則經壓縮處理後送往掩埋區處置，故可以增加掩埋場之使用年限。此外處理廠亦可同時作金屬廢料回收工作，其回收價值約略與現場耗用之電費相等。本項掩埋場之四周防波堤工程費約 670 億日圓，平均每公尺之工程費約 1,100 萬日圓，其費用由東京都清掃局與港灣局各約負擔二分之一，另粗大垃圾破碎處理廠，建設費用約 16 億 5 千萬日圓。

(二)大阪灣北港廢棄物衛生掩埋場：

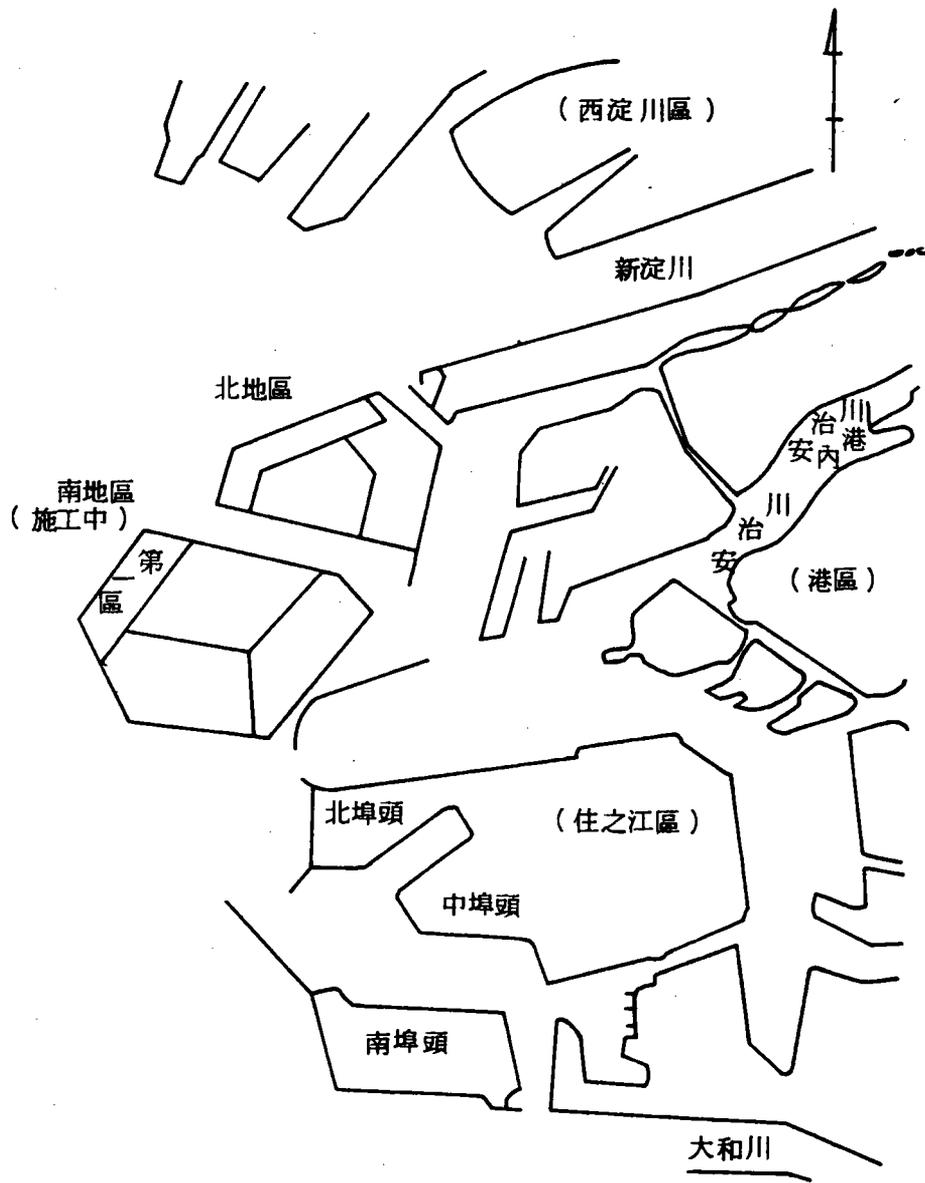
大阪灣北港廢棄物處理計畫，係由大阪府之環境事業局及港灣局兩個單位互相配合推動執行。計畫中之圍堤工程由港灣局負責規劃設計並投資興建，而垃圾掩埋計畫則由環境事業局負責辦理。其掩埋原則以垃圾佔（四分之一）面積及港底淤沙（四分之三）面積配合構成。依據訂定之操作計畫，分區執行掩埋工作，在四周外圍護岸（海堤）施工之同時，區內中央分隔堤也一併建造，如此有兩個作用：(1)可以分隔不同性質之掩埋物(2)護岸及分隔堤頂寬 10 ~ 20 公尺可作爲垃圾掩埋期間車輛之進出道路及新生地地下管線埋設管路與完成後之正式道路。

北港廢棄物計畫又概分爲北地區與南地區。其工程概要如表二及圖四。

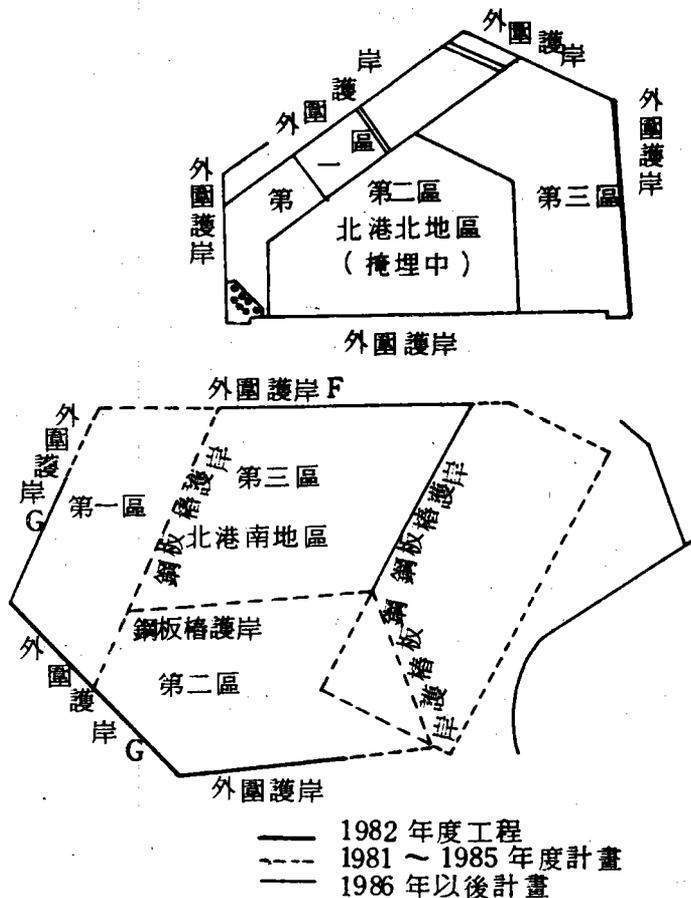
表二 北港廢棄物掩埋場概要

地 區		北 地 區		南 地 區	
		北 地 區		南 地 區	
項 目					
面 積		約 204 公頃		約 288 公頃	
掩 埋 容 量		$約 2.5 \times 10^7 m^3$ <ul style="list-style-type: none"> 第一區 $8.2 \times 10^6 m^3$ 第二區 $16.8 \times 10^6 m^3$ 		$約 4.9 \times 10^7 m^3$ <ul style="list-style-type: none"> 第一區 $1.069 \times 10^7 m^3$ 第二、三區 $3.83 \times 10^7 m^3$ 	
護 岸 長		外周護岸 5881 m 中央間隔堤 3657m		外周護岸 5164 m 板樁護岸 4578 m	
掩 埋 種 類	第 1 區	一般廢棄物，廢棄污泥		同 左	
	第 2.3 區	海底淤砂，事業廢棄物殘土		同 左	
建 設 年 限		1972 ~ 1977		1977 ~ 1988	
使 用 年 限		1973 ~ 1984		1985 ~	
建 設 費		約 480 億日圓 *		約 1030 億日圓 *	
工 程 進 度		護岸完成，掩埋、築堤等工程繼續中。		約 37% *	
使 用 情 形		約 $2,217 \times 10^7 m^3$ (88.7%) 第一區 7.57×10^6 (92%) 第二、三區 14.6×10^6 (86%)		-----	

* 1983年資料



圖四 大阪灣北港掩埋場地平面概要圖



圖四、大阪灣北港掩埋場地平面概略圖

北地區實施垃圾掩埋有關工程設施概述如下：

1. 北港垃圾轉運站：

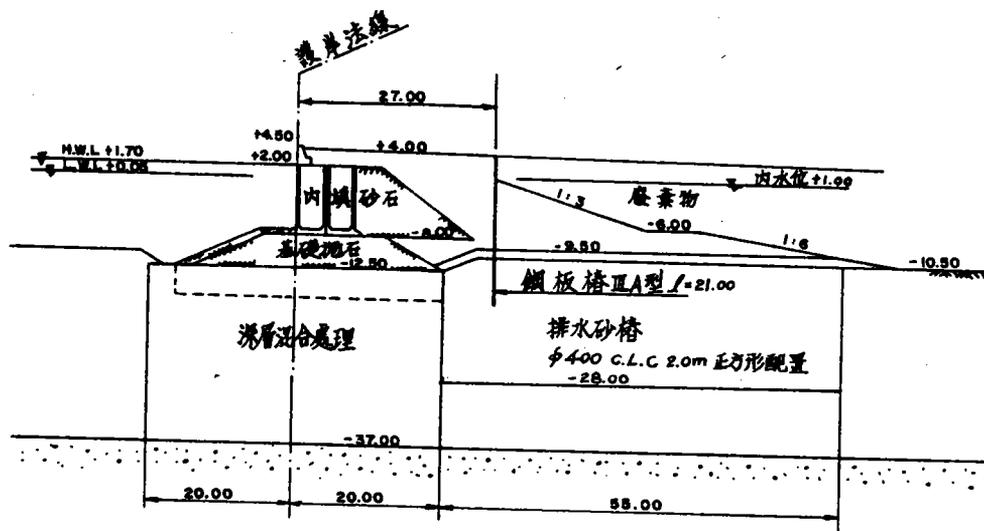
本轉運站面積約有 $7126 m^2$ ，於 1973 年 5 月開工，同年 11 月完工啓用，每天轉運之垃圾約 1,800 公噸，以轉運不燃性垃圾及焚化後之灰燼為主。該站設有動力拖船二艘，運送船十艘。運送途中及轉運站上為防止垃圾及灰燼之飛散，均以帆布遮蓋，並設集塵裝置。

2. 北港垃圾最終處置場

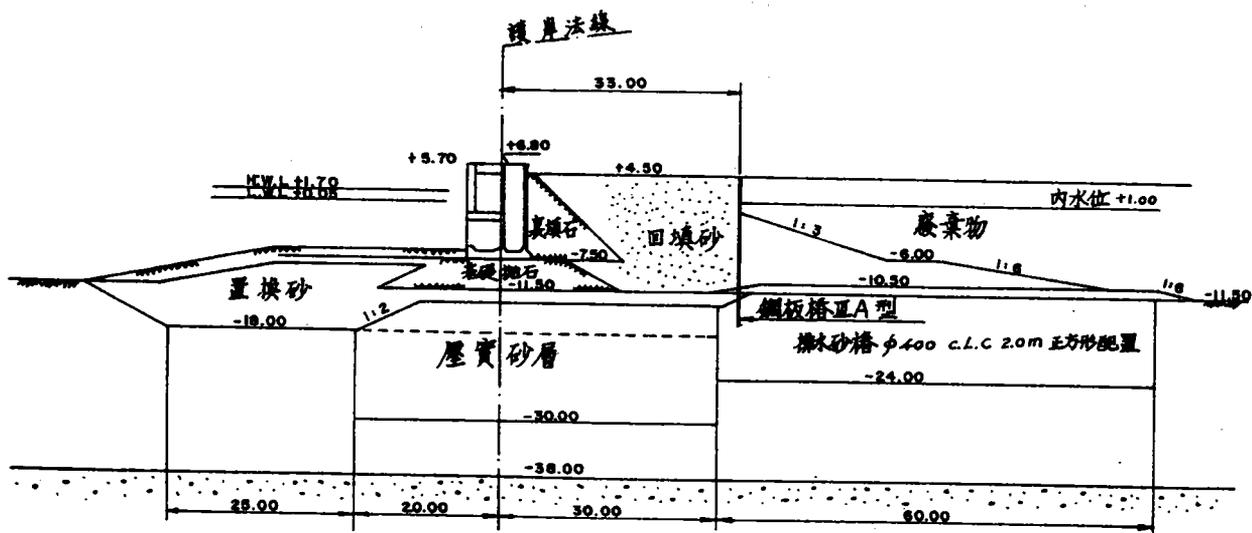
各種廢棄物經由海上運抵此海面掩埋場後，以十座大型固定式起重機予以抓升上岸，由車輛運至掩埋場處置。其填埋方式係以垃圾填埋三公尺，再覆以 50 公分厚之覆土，交互層疊方式為之，內部埋設有滲出水收集管和排氣管，藉污水處理場及廢氣燃燒設備防止發生公害。此外另備有清潔船維持海面之清潔。

北港廢棄物掩埋區其護堤形式是採用重力式沈箱護堤（圖五(a)(b)），基礎

部份原設計採用排水砂樁，但因仍不穩固，經加入水泥砂漿，改良後使其硬度增加 100 倍，再於上面置放拋石，沈箱護堤則築於拋石基礎上。護堤內部以直徑 ϕ 40 公分之排水砂樁作每間隔 2 公尺之正方形配置以穩固基礎。此外並打入長 21 公尺之 III A 型鋼板樁，以確實阻斷基地內外滲透水之流動，以達到防止滲出水污染外海及阻止因海水入滲增加污水量之目的。至於用以分隔各掩埋區



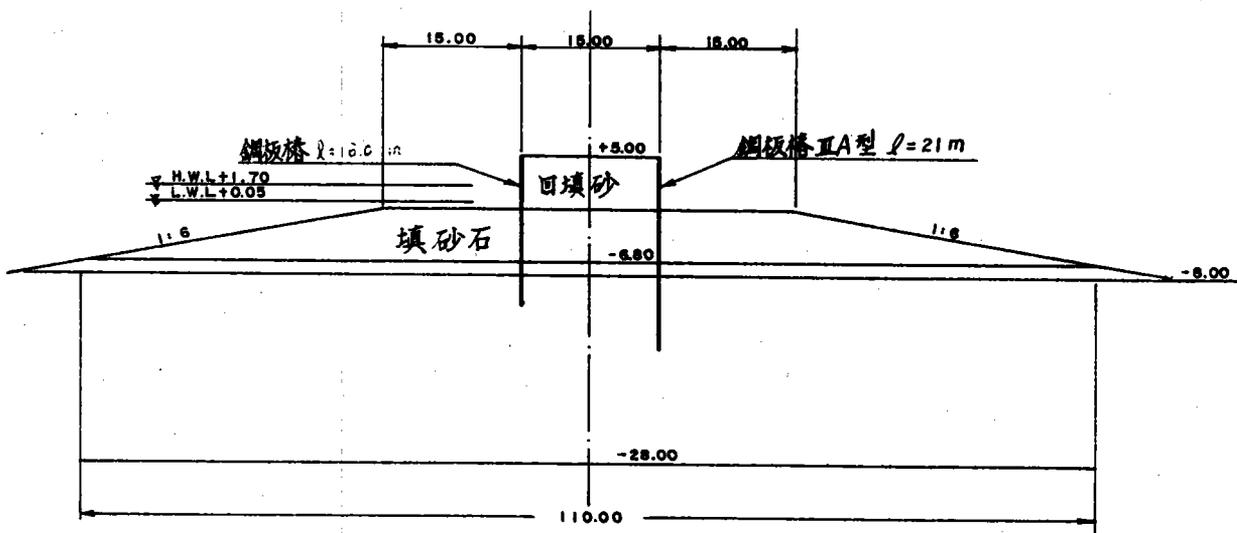
(a) F 護岸斷面圖 (深層混合處理)



(b) G 護岸斷面圖

圖五 北港廢棄物掩埋場護岸構造

之間隔堤（圖五(c)）是以長 16 m 及 21 公尺之Ⅲ A型鋼板樁作雙排設置，內部填砂石構築而成。護岸每公尺工程單價約為 1,200 萬日圓，一半以上費用花在基礎工程之上。



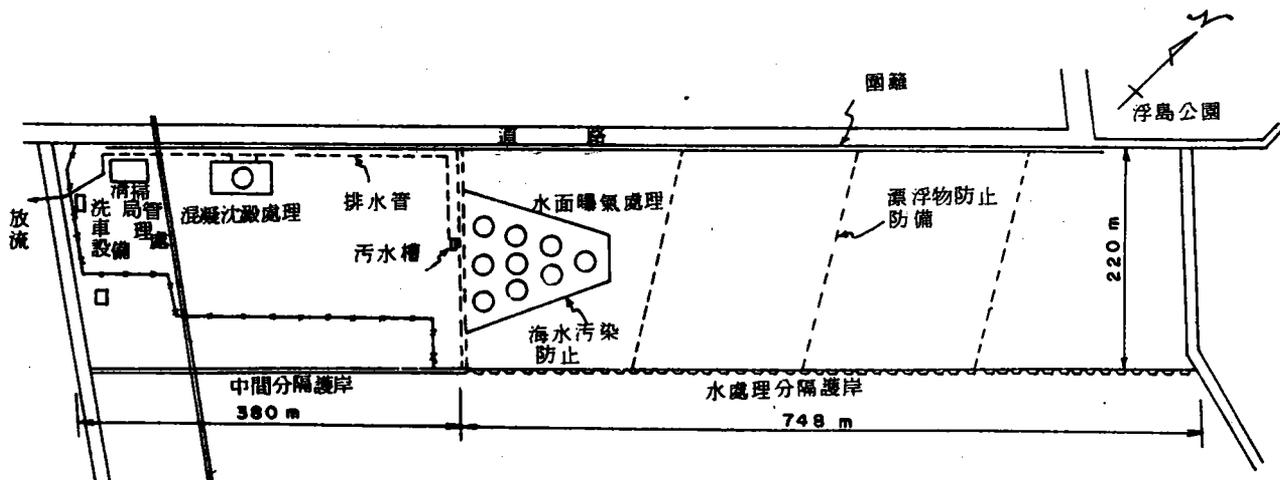
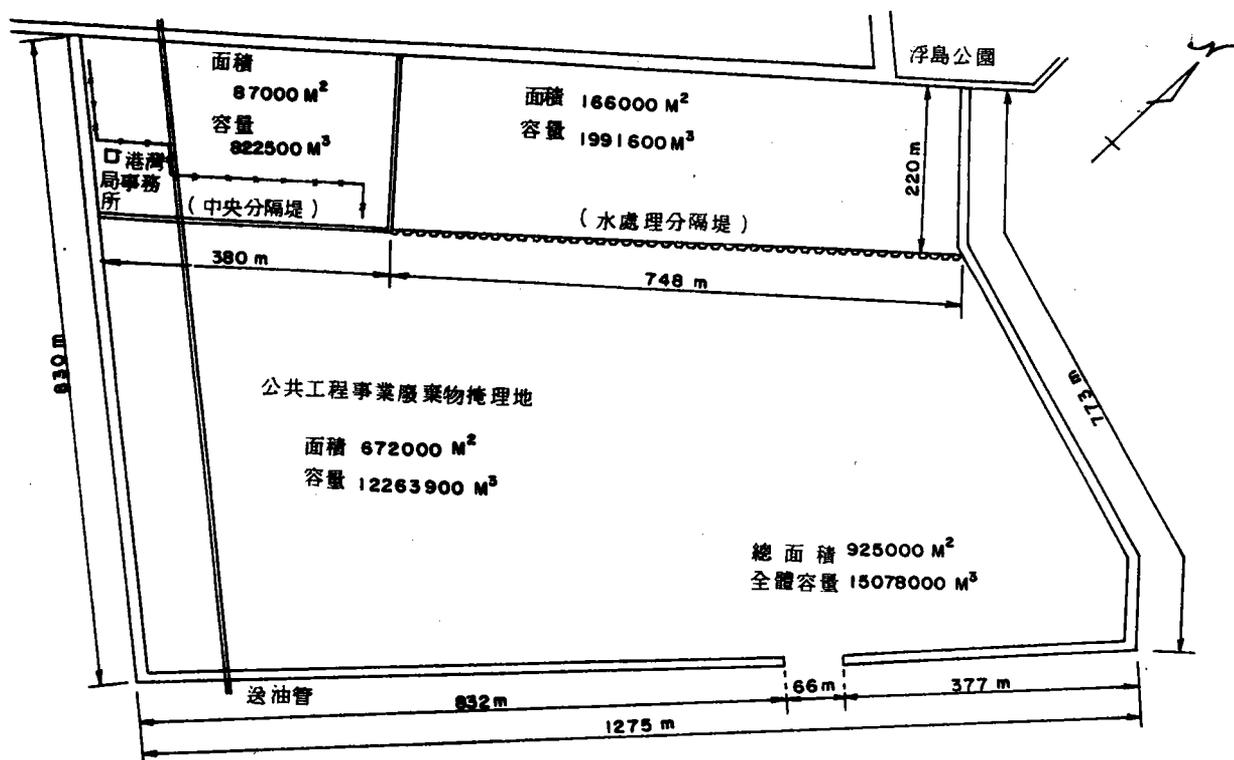
(c)中間間隔堤斷面圖

圖五 北港廢棄物掩埋場護岸構造

整個計畫掩埋場所需填築之淤砂均就近利用抽砂船施工抽取，所需之覆土及廢棄物則利用船舶轉運而來，每天運入掩埋之量高達 2,900 噸。綜言之，此大阪灣北港廢棄物衛生掩埋場計畫最明顯之特色為①妥善規劃②嚴格執行和③廉價之海上運輸。這些特點可作為吾人規劃垃圾收集及運輸系統之參考。

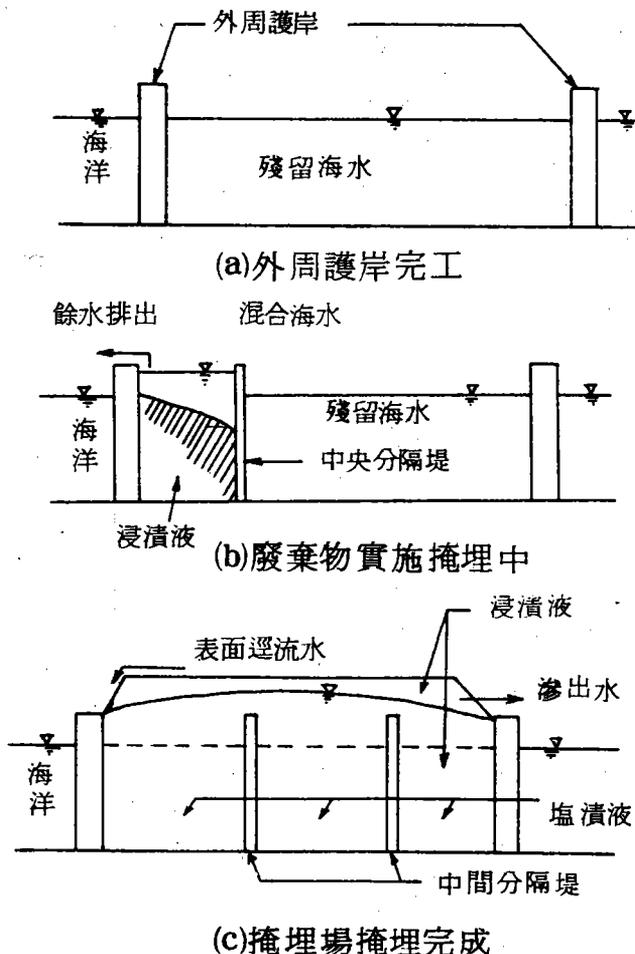
(三)川崎浮島廢棄物掩埋場：

川崎浮島廢棄物掩埋場是利用海岸邊作三面築堤填海造地之工程，其平面配置如圖六，目前已使用之掩埋區域有中間分隔堤內區及水處理分隔堤內區二處，中間分隔堤是以二重板樁形成用間隔堤來分隔掩埋區，水處理分隔堤則是以鋼板圍堰構築（鋼板樁打入後，內堤側加打設止水鋼板樁一排）。中間分隔堤及



圖六 川崎市浮島廢棄物掩埋場平面圖

水處理隔板主要功能即防止廢棄物及污水之洩出，並阻斷海堤內外海水之滲入，因若有滲透現象發生，則將造成掩埋場區新生基地之軟弱，不但影響日後新生地之利用，同時也會增加污水之處理量，整個掩埋計畫概要如表三。其施工步驟如圖七之順序，當其外圍護岸完工時，堤岸內部之殘留海水有平衡內外壓力作用，如圖七(a)，掩埋工程則配合中央分隔堤之興建作分區掩埋，此時掩埋區內水位因廢棄物埋入而提高，故餘水經處理後排放於護岸外，如圖七(b)，掩埋完成後地下水可區分為三類；(1)表層因降雨之入滲水(2)入滲雨水與滲出水混合之浸漬液(3)海水滲入之鹽漬液如圖七(c)，滲出水仍需繼續抽出處理並放流海洋，以保持護岸內、外水面之平衡。



圖七 川崎浮島廢棄物施工及實施掩埋步驟

本實例整個計畫是由川崎港務局配合當地清掃局共同規劃設計施工，為減少因垃圾掩埋造成之污染等問題，其接受入場掩埋之廢棄物有(1)都市廢棄物：垃圾焚化後之殘渣（目前川崎市的垃圾已達 100 % 之焚化率，但未推行家庭分

類)及污水處理場之污泥。(2)事業廢棄物：建築廢棄物、金屬碎物、礦渣、玻璃碎片及陶磁碎片等。掩埋場接受廢棄物之標準如表四，場區內設有集水管以收集滲出之污水，並施以曝氣和混凝沈澱之處理，並以灑水、噴灑灰塵防止劑及種植草木等方式防止灰塵飛揚。其他公害防治設施尚有於水處理間隔堤內區放置三座長 230 公尺，水面上 0.3 公尺，水面下 0.5 公尺之漂浮物防止設備，以阻止垃圾漂散。岸邊陸地則設置一座 35 公尺高之圍籬，以防止垃圾飛散。

除上述三個實例以外，日本政府現正進行的尚有大阪灣廣域整備計畫，此計畫乃以區域性聯合處理方式，其處理區域包括大阪近畿二府（大阪府、京都府）四縣（滋賀縣、兵庫縣、奈良縣、和歌山縣及 159 個市鄉鎮之垃圾，此地區共同生活之居民超過 1,700 萬人口，日產數量龐大的垃圾，以該區域內可供掩埋之場地難以取得，故必須以區域性聯合處理方式為之，避免造成垃圾處理問題，因此透過各市政當局自治體的爭取，及運輸省、厚生省積極贊助研究，遂於 1980 年由中央政府聯合推動「大阪灣廢棄物廣域處理場整備計畫，並於 1981 年第 94 屆國會通過「廣域臨海整備中心法」，1982 年首先成立「大

表三 川崎市浮島廢棄物掩埋場概要

名稱	浮島廢棄物掩埋地	
	中仕切護岸內	水處理護岸內
地點	川崎市川崎浮島町 430 番地前公有水面	
面積	87,000 m ²	166,000 m ²
掩埋容量	822,500 m ³	1,991,600 m ³
工程期間	1976 ~ 1977	1980 ~ 1982
工程費	1,264,000 仟圓(日幣)	1,244,000 仟圓(日幣)

表四 川崎廢棄物掩埋場接受廢棄物標準

廢棄物種類	廢棄物接受標準
(1)灰渣	灼燒減量在 15 % 以下，且為無害者。
(2)污泥	含水份在 85 % 以下，且為無害者。
(3)建築廢棄物	無空隙，且最大徑在 30 公分以下，無害及未混有可燃物者。
(4)金屬碎物	無空隙，且無粘附油漆、油物等。
(5)玻璃碎片 陶磁碎物	無空隙者。
(6)礦渣	最大徑 30 公分以下，且無害者。
(7)陸上廢土	無害、未含油份及無可燃性者。

阪灣廣域臨海整備中心」負責上述區域之垃圾及事業廢棄物在大阪港、堺泉北港、神戶港、尼崎西宮、蘆尾港等地實施廣域海灣內衛生掩埋、新生地利用及環境污染防治等工作。其基本處理原則是採用填海衛生掩埋，以掩埋焚化灰渣及一般事業廢棄物為主，此乃因鑑於在該區域內各市鄉鎮垃圾焚化率已達 95%，故可採灰渣掩埋方式。惟基本上各市鄉鎮仍需自行處理至某種程度後，方可委託該中心作最終處置。

三、結語

1. 無論利用何種中間處理方式來處理垃圾，其最終處置場之興建，仍屬必要的，以大阪府及川崎市為例，其垃圾已達 100 % 焚化率，東京都垃圾焚化率亦達 85 % 以上，但其灰燼及不燃物仍有相當之體積，而因該等地區陸上不易取得掩埋場地，故須在海面或海岸興建最終處置場。
2. 日本東京灣及大阪灣均屬閉鎖海域，海流流速較緩，故對垃圾掩埋場之污水處理特別慎重，避免污染海域。而台灣地區沿海海流較湍急，如設置掩埋場，污水經處理後放流海洋應不致於造成污染，但因海流

較急，故設置護堤之工程技術亦較困難，所需工程費用相對提高，這是值得我們重視的問題。

3. 由於日本地狹人稠，於陸地尋找垃圾掩埋場已越來越困難，故除以焚化處理為主外並朝著於海岸或海域興建掩埋場方向努力，以處理龐大之垃圾量；雖然本研究提實例其設置地點位於海灣內，所受外海潮流及海浪沖擊均較小，惟政府仍以每公尺護堤達 1,100 至 1,200 萬日圓之建設費投資興建圍堤掩埋垃圾，防止污染並產生新生地。台灣地區亦屬海島地型，人口密度相當高與日本頗為相似，今後除都市地區應逐漸以焚化方式來處理垃圾外，有關海岸及海域掩埋場之開發設置係屬當前重要課題，但應研究工程技術可行性及考慮經濟效益，才能進行設置海域掩埋場。
4. 日本垃圾填海計畫均由環境事業局及港灣局共同負責，港灣局負責圍堤之工程規劃、設計及經費，填海工程所涉及工程技術較為複雜，因此需要港灣局等單位協助辦理，以便有效控制工程品質。未來台灣地區如經規劃評估可設置海域掩埋場時，應由有關單位共同合作、關設，且應同時規劃新生地之最終利用，配合未來土地利用，分區掩埋不同性質之廢棄物。日本與海爭地之技術與精神，正是我國良好之借鏡。

參考資料

1. 謝錦松等：「赴日本考察一般廢棄物之處理方法及維持管理」報告書 73 年 3 月，行政院衛生署環保局。
2. 謝錦松：「日本垃圾衛生掩埋之現況」，垃圾衛生技術研討會，72 年 10 月 26 ~ 27 日，高雄。
3. 莊世隆：「垃圾之海岸衛生掩埋」，垃圾衛生掩埋技術研討會，72 年 10 月 26 ~ 27 日，高雄。
4. 白汝榮等：「赴日本研習港埠工程報告書」，67 年 10 月，台灣省交通處基隆港務局蘇澳港工程處。
5. 東京都清掃局：「1986 年清掃工作介紹」，1986。
6. 川崎市清掃局：「浮島廢棄物掩埋場概要」。
7. 大阪市環境事業局：「北港廢棄物掩埋場概要」。
8. 大阪灣廣域臨海環境整備中心：「大阪灣廣域臨海環境整備中心計畫概要」。

垃圾壓縮填海之可行性研究

潘丁白*

摘 要

現代垃圾處理係十分複雜而具專業性之工作，垃圾之壓縮填海，就其處理流程而言，自應就壓縮法與填海法分別研究其可行性，惟整體過程，所稱之垃圾壓縮填海法，係指垃圾經壓縮、包紮鐵線或鐵絲網後，覆以混凝土，瀝青或塑膠套等成一封閉塊後，並進行填海之處理過程。

因此，本文第一章就整體過程所稱之垃圾壓縮填海法分析其運輸，二次公害及經濟等問題。質言之，將生垃圾運至壓縮廠，壓縮成塊後再運至填海處，其運距在一般情形均甚長；壓縮廠與填海處，皆需設置各種防污設備，以免產生二次公害；其次在經濟分析方面，以臺北市為例，每公噸垃圾壓縮填海費用（包括收集、運輸費用）約 4,000 元，較垃圾焚化灰燼掩埋法約 3,600 元相差有限。

第二章分別研析壓縮法及填海法之種類及個別方法可行性。由垃圾處理流程觀之，垃圾壓縮為前置處理之一種，其將垃圾破碎後壓縮，減少體積增加密度，以提高運輸及最終處理之效果。一般而言，壓縮法分車上型、固定型低壓、固定型高壓及密集型四種；車上型壓縮器與固定型低壓壓縮器宜供目前使用，惟俟實施家戶垃圾分類或來往車輛運距超過一小時，必須設置轉運站時，則固定型高壓器可使用。型態之選擇，當應配合當地社會、經濟、文化、技術、心理等因素予以評估，再加決定。

垃圾填海屬垃圾最終處理之一種，最終處理有拋海法、填海法、衛生掩埋及傾棄掩埋四種。依據經濟及實質環境分析結果，現階段以衛生掩埋較為適當，垃圾傾棄掩埋及拋海二種方法，均因產生嚴重二次公害，故不宜採用。至於垃圾填海由於臺灣東部海岸多屬岩岸、腹地太小，復因離岸不遠處即為深海，故不宜採用；西部海岸雖有多數地點可供選擇惟因受風浪影響，工程造價偏高

*行政院經建會簡任技正

，僅可擇點進行示範計畫。將來可俟焚化爐普遍興建完成，產生之灰燼及自家戶分類後收集之無機物兩類，累積至足夠數量，並配合港口興建計畫，共同進行。

填海法一般可分為圍堰填海及海岸衛生掩埋兩種。前者即在港灣中或邊海地區圍堰，將水抽出後再進行衛生掩埋，其工程造價頗高，多以配合港灣工程同時進行；後者係於海岸或河口陸地築堤後衛生掩埋，此種方法係多築一道海堤以防潮位影響之衛生掩埋，造價較低，就現階段而言，宜以海岸衛生掩埋法為主，至圍堰填海則宜從長計議。

最後第三章提出結論與建議以供有關單位參考。

第一章 垃圾壓縮填海法整體過程評估

平塚興產株式會社 (Tezuka Kosan Co., Ltd)⁽¹⁾ 在 1950 年首創「垃圾壓縮填海法」，將垃圾經前壓縮、高密度壓縮、包紮鐵線或鐵絲網後包覆混凝土或瀝青、塑膠套等成一整體壓縮封閉塊後，進行填海。並宣稱具有下列效用：

- (1) 運輸費用減少：垃圾密度增大，容積減少為原垃圾之 1/5，節省垃圾運輸費用。
- (2) 經壓縮打包之垃圾塊，不產生二次公害。
- (3) 垃圾處理費用低廉；延長掩埋場使用年限。

本章謹先就垃圾壓縮填海之處理技術及經濟分析予以剖析後，再對上述之效用加以評估。

第一節 處理技術

一、高密度壓縮機之種類⁽¹⁾

(一) 不附包紮機之高密度壓縮機：此種壓縮塊僅能包覆混凝土或塑膠套，無法包覆瀝青，適合含水量 30% 以下之垃圾，因含水量超過 30% 時，包覆塊極易破裂。此種壓縮機多應用於美國，主要製造商為美國 American Hoist 公司。

(二) 鐵線捆紮壓縮機：垃圾經高壓壓縮後自動捆紮鐵線，適合含水量在 35 至 60% 之間的垃圾，如水分過高，垃圾塊亦易破裂，其壓縮塊包覆混凝土或塑膠套，無法包覆瀝青。主要製造商有美國的 American Baler, Williams 及 American Hoist 三家，西德 Lindemann 廠（應用於西德，澳洲兩地），以及日本 Tezuka 與 Fujicav 兩家（應用於日本及香港各一座）。

(三) 鐵絲網包紮壓縮機：垃圾經高壓壓縮後自動捆紮鐵絲網，適於任何含水量之垃圾，其壓縮塊可覆瀝青、混凝土、塑膠套等，主要製造廠商僅日本 Tezuka 公司，應用於日本 42 座廠。

由以上各種壓縮機之適用情形，以臺北市為例⁽²⁾，市場垃圾之含水量為 55 — 90 %，商業區、郊區及住宅區為 34 — 70 %，一般混合垃圾為 46 — 66 %。因此，國內的垃圾如採用壓縮處理，宜加捆紮鐵絲或鐵絲網，不能不附包紮機。

二、壓縮工廠內之二次公害與環境衛生措施

(一)垃圾壓縮過程中，所產生的污水、廠內洗滌污水、員工污水等，應收集污水及垃圾貯存坑內處理，達合乎排放標準後，始予排放。

(二)壓縮廠內的噪音，最大來自油壓機及操作室，應予隔離，並採用隔音性強的建材。

(三)未壓縮前的垃圾臭味，大致集中於儲坑處，可予收集經除臭設備去除臭味，全廠另裝設通風設施。

國內廠商包括淡水鎮之宇洲纖維股份有限公司⁽³⁾、代理商如淨國興業股份有限公司「使用手塚式 (Tezuka) 垃圾壓縮機計畫」⁽¹⁾對上述二次公害問題，尚待改善。

三、目前適用條件

垃圾經壓縮封閉後，外界空氣與水分無以進行微生物腐化垃圾，惟經數年後，垃圾塊可能會破裂，復產生二次公害⁽⁴⁾。因此，首創此種方法的日本，已改變高壓壓縮法，並僅適用下列幾種無機物之垃圾：⁽⁵⁾⁽⁶⁾（註：對此種垃圾之壓縮機種類亦無嚴格限制）

(一)不燃物：經分類收集後產生之不燃物，如陶瓷器、玻璃、土砂或瓦礫、金屬等屬之。

(二)不適燃物或粗大物質：經分類收集後產生之塑膠類、照像軟片、橡膠皮革類、建材類、家具類、發泡樹脂類、電氣電線、玩具等屬之。

(三)燃燒灰燼：經焚化後產生的灰燼。

四、壓縮塊填海

壓縮塊過去曾實驗拋至海裡，但因受海壓及水流的影響而破損，造成海水

污染而禁止使用，因此，後來改以在海埔地或港灣圍堰築堤內掩埋，稱之謂壓縮塊填海，基本考慮因素⁽⁷⁾如下：

(一)容量須能滿足需求：海岸衛生掩埋工程均甚龐大，包括建造防波堤、防滲處理、污水處理及其他有關公害防治設施，故首須估計所開闢之掩埋場是否足敷需要。

(二)環境影響性：於海岸地區實施垃圾衛生掩埋，須顧及沿岸環境的保育，儘量使其不良影響減至最小程度。

(三)技術可行性：實施海岸衛生掩埋，必須考慮選定地點的地理環境、海岸地形、地質、沿岸波高大小、潮流影響等，評估其在技術上是否可行。

(四)經濟性：海岸衛生掩埋，因需建造防波堤，以抗外海風浪，並達到阻斷堤內外滲水的目的，但若因地質情況不適，須大量投資，超出預算太多，則當另予考慮。

(五)社會影響性：地點的選擇，宜避免使用名勝、風景區或重要設施地區；最好為尚待開發地區以減少阻力，若能與港灣設施相配合則更佳。

因此，在海岸實施衛生掩埋前，即需準備：

(一)基本資料的蒐集：包括沿岸地形與水深測量、波浪海岸流、潮差等海象調查、風向、風速、降雨量、氣溫、日照等氣象調查、地面水與地下水等水文調查、地質探查及分析、海域生物調查、工程材料之試驗等。

(二)基地水工模型試驗：包括堤線、護岸穩定及沿岸漂砂試驗等。

(三)環境影響評估：為確實瞭解工程設置後對基地周圍自然環境、沿岸漁生物等各方面之衝擊程度，並尋求最佳的防患對策，須先辦理環境影響評估工作。

按照日本填海（垃圾海岸掩埋）之實例，需設置設備如下⁽⁷⁾：

(一)護堤：防波功能及阻斷基地水的流通主要形式可分重力式、鋼樁式、圍堰式及拋石式四種。

(二)間隔堤：依基地地質情形或打雙排鋼板樁內填砂石，或以砂樁改良地盤再回填土砂、建築廢土、礦渣等，俾供作業時車輛進出通路及新生地地下管線埋設通路之用。

(三)外緣排水設施：設於防護堤內側面，用以排除越波海水。

(四)其他有關設施：包括入口地磅、給水系統、洗車設備、管理中心、海防設施等。

第二節 經濟性分析

一、壓縮處理廠分析

根據中興工程顧問社對臺北市垃圾之分析及建議，可設置每日處理 1,200 公噸垃圾壓縮工廠的建廠方案有二：方案一、全部採用鐵絲網高密度壓縮包紮機；方案二、兼採鐵線高密度壓縮捆紮機及鐵絲網高密度壓縮包紮機。其費用概估，以民國七十年八月物價指數分析如表一。

表一 臺北市壓縮工廠建廠兩方案特性比較及費用概估

項 目		方 案 一	方 案 二
垃圾處理量		1,200 公噸 / 日	1,200 公噸 / 日
設 備		24公噸 / 日 鐵絲網高密度壓 縮包紮機 5 台	除方案一之設備 一台外，另加 48 0 公噸 / 日鐵線 高密度壓縮包紮 機 2 台
廠 地 面 積		5 公頃	5 公頃
發包工程費初估		15.3 億元	8.4 億元
每公噸 垃圾單 位操作 維護費	人事、水電、機油 鐵絲網及雜項	1,000 元	360 元
	表面包覆瀝青或混凝土	360* 元	1,990* 元
小計	不含折舊利息費	1,360 元	2,350 元
	含折舊利息費	1,890 元	2,640 元

* 註：鐵絲網壓縮垃圾塊可包覆瀝青，惟鐵線壓縮塊僅可包覆混凝土，包覆瀝青每公噸垃圾所需另增加 360 元，包覆混凝土每公噸垃圾所需另增加 2,400 元。

資料來源：參考資料(2)

由上表，每公噸垃圾單位操作維護費，如不含折舊利息費，分別為 1,360 元與 2,350 元；含折舊利息費時，分別為 1,890 元與 2,640 元。根據中興工程顧問社以相同時間民國 70 年 8 月之物價指數估算興建焚化爐費用⁽⁸⁾，每公噸垃圾單位操作維護費不含折舊利息費為 613 元，較壓縮處理廠低出甚多，含折舊利息費時為 2,080 元，其費用在兩方案費用之間。

二、填海費用分析

壓縮塊的最終處理雖可以掩埋法製成建材等方面使用。如最終處理係使用填海，則當分析填海費用，按照日本填海之實例，平均建設每公尺之二重網管鋼板護岸之建設費為 1,047 萬日元⁽⁹⁾（約 190 萬元），以東京灣、大阪灣瀨戶內海建成護岸可利用填海容量較大為例，每立方公尺單位成本為 117 元至 255 元，平均約 186 元，每立方公尺垃圾塊約為 1 公噸，即平均公噸垃圾處理費約 186 元，又場內操作維護費，若與一般垃圾掩埋場合用，臺中市大肚山掩埋場估計每公噸垃圾約 95 元⁽¹⁰⁾；臺北市福德坑掩埋場因不需覆土，估計約 80 元⁽¹¹⁾；壓縮塊於場內之操作維護費，因生垃圾單位體積減少，估計為原 1/2 費用，灰燼估計為原生垃圾操作維護之 1/5 費用。

三、運輸費用分析

垃圾由家庭棄置於外時，其密度約為 0.2；經垃圾車收集後，在臺北市約 0.275；經壓縮車或掩埋場堆土機滾壓後之密度，在 0.5 至 0.6 之間⁽¹²⁾；經自然沉降壓密後（2 年以後）掩埋場垃圾密度約為 0.7 至 0.9 之間⁽¹³⁾，垃圾經高密度壓縮機壓縮後之密度約為 1。一般垃圾之運輸費用⁽¹⁴⁾，各班制每日每輛運送次數之每噸每公里費用約 5 元至 130 元之間；若不含收集，僅考慮運送部分則為 5 元至 65 元之間，一般則以平均數 35 元作為分析之基礎。運送生垃圾至焚化爐、掩埋場或壓縮廠每公噸每公里單價均為 35 元，惟自壓縮廠運送至填海處每公噸每公里單價為（比一般收集車密度增 3.6 倍）10 元，自焚化廠運至掩埋處每公噸每公里單價約為 3.5 元，假設生垃圾運輸及壓縮塊或灰燼運輸各為 10 公里，則壓縮填海法為 450 元，焚化掩埋法為 385 元。

綜合上述各項經費估計，並依據中興工程顧問社估計焚化爐建設費用⁽⁸⁾，分析如表二；垃圾壓縮填海法每公噸為 3,686 至 4,436 元之間，焚化灰燼掩埋法為 3,567 元，又垃圾壓縮後運送至填海處，一般均比垃圾焚化後灰燼運送至掩埋處距離為遠，實際差價更多，因此，就費用而言，垃圾壓縮填海並非經濟。

表二 壓縮填海法與焚化灰燼掩埋法費用估計 單位：元

	壓 縮 填 海 法	焚 化 灰 燼 掩 埋 法
每公噸垃圾		
1.單位操作維護費（包含建廠折舊利息費—即考慮建廠投資）	1,890 — 2,640	2,080
2.收集及行政費用（依據臺北市環境保護局提供之七十一年度收集支出資料）	1,080	1,080
3.運輸費（假設生垃圾運輸及處理過垃圾運輸各 10 公里）	450	385
4.掩埋場處理費（不包含操作維護）	186	2*
	（填海工程費用）	
5.場內操作維護費	40	20
合 計	3,646 ~ 4,399	3,597

資料來源：參考資料(2)、(8)、(11)。掩埋場處理費以木柵福德坑而言每公噸生垃圾約為 20 元，灰燼則為 2 元。壓縮法後之壓縮塊估計為原生垃圾操作維護之 1/2 費用，灰燼估計為原生垃圾操作維護之 1/5 費用。

第三節 綜合檢討

一、運輸費用

垃圾填海之運輸系統，係將生垃圾運至壓縮廠，此時垃圾車之載運量並無增加，運輸費用單價之多寡，除垃圾車之載運量外，尚需考慮運距。壓縮塊運至填海處時，其載運量雖增加，一般距離增長，因此，整體運輸費用較高。掩

埋場之運距經濟性當不考慮設置轉運站時為 16 公里以內⁽¹⁵⁾（轉運站設置後，運距可達 50 公里以上），又市區內生垃圾運至壓縮廠或焚化廠，若平均運距約 10 公里，則運壓縮塊至填海處之相同經濟運距為 22 公里（ 6×3.6 ），若高於 22 公里之運距則不合算，然灰燼之經濟運距為 60 公里（ 6×10 ），遠較運壓縮塊適用地點為廣。

二、二次公害

任何經嚴密管制處理垃圾之工程，皆不會產生二次公害，惟需考慮所需投資之工程費之多寡。壓縮填海法於壓縮打包處理工程中，產生之各類二次公害已於前節所述，需經工程技術予以控制，據日本之經驗指出，壓縮塊填海亦相同產生各種二次公害，故需設置各種設備以便控制。

三、掩埋場使用年限

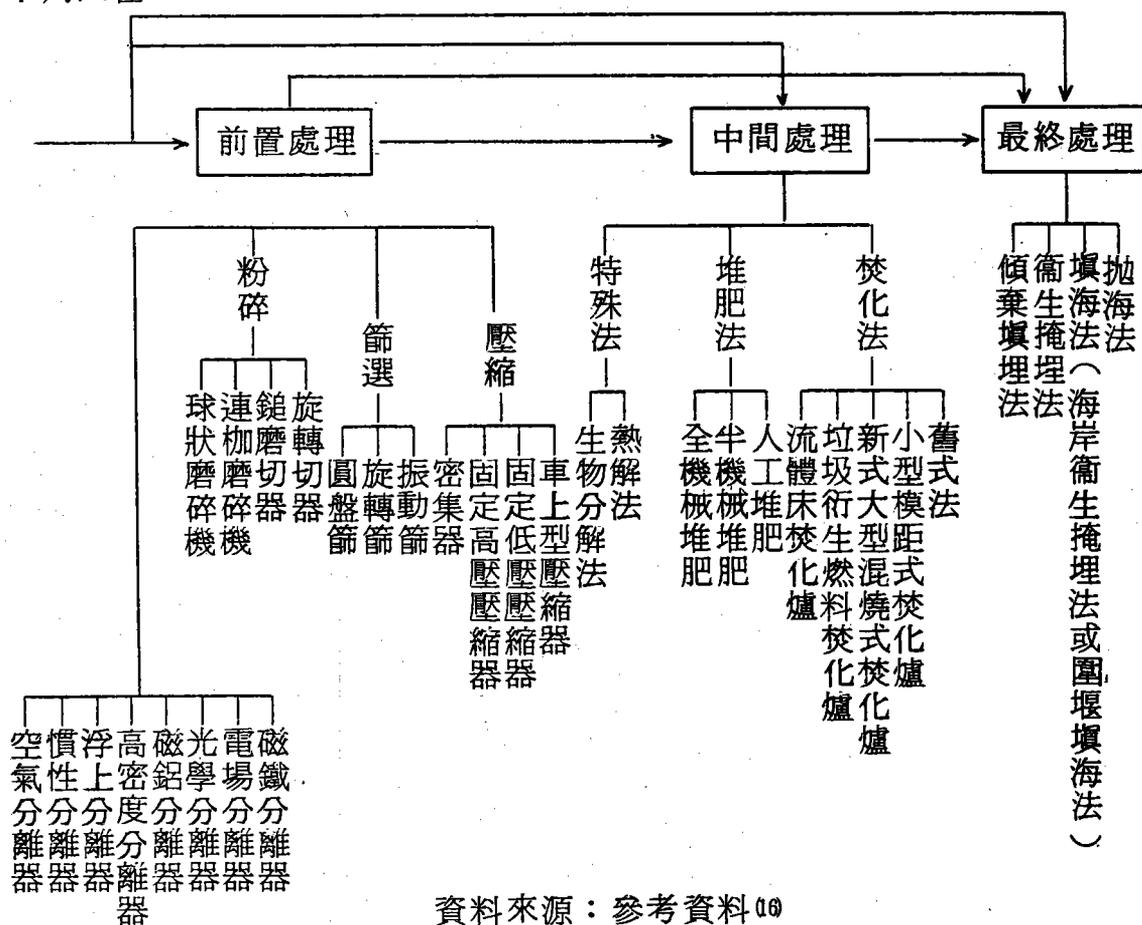
垃圾壓縮填海處理費用在前節表二已做分析，較焚化灰燼掩埋為貴；至於掩埋場使用年限一項，前已說明掩埋場垃圾之密度，經自然降壓後為 0.7 至 0.9 之間；垃圾經高密度壓縮機壓縮後，密度約為 1，假設壓縮塊外瀝青混凝土所佔體積與覆土體積相等，則掩埋場約可延長其使用年限 25%，比垃圾焚化後灰燼掩埋延長掩埋場之使用年限為短。（註：實際瀝青混凝土所佔體積一般較覆土體積為大。）

第二章 臺灣地區垃圾壓縮或填海之可行性

本章將根據正確的垃圾處理流程，分別探討壓縮法及填海法在垃圾處理所扮演的角色，並評估在國內使用的可行性。一般而言，垃圾處理的流程，詳如圖一⁽¹⁰⁾，包括 1. 垃圾直接進入最終處理；2. 垃圾經前置處理後進入最終處理；3. 垃圾經中間處理後進入最終處理；以及 4. 垃圾經前置處理、中間處理再進入最終處理等 4 種型態。

第一節 垃圾壓縮法分析

垃圾壓縮法屬圖中前置處理的一種。垃圾之壓縮，係將垃圾壓縮或經破碎後壓縮以增加密度，減少體積，提高運輸及最終處理之使用效果。一般可分為下列四種：



資料來源：參考資料⁽¹⁰⁾

圖一 垃圾處理流程

一、車上型壓縮器

即各型壓縮密封車輛中使用者，有前裝式 (Front Loaders)，側裝式 (Side Loaders) 及後裝式 (Rear Loaders)，國內大都使用後裝式⁽¹⁷⁾，壓縮器屬於低壓式，即低於 100 psi，按垃圾的性質可減少容量為原體積之 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ ，增加垃圾車之載運量。

二、固定型低壓壓縮器

壓入低於 100 psi 安裝於垃圾箱 (Container) 之旁或上端者屬之^{(18), (19)}，垃圾倒入入口容器後，經低壓壓縮器推入至垃圾箱內，此垃圾箱亦稱為子車，裝滿後由母車拖運，以增加運輸效率。臺北市目前有母車 15 部，子車 150 部，惟國內尚無此類壓縮器；其效果則如同前項車上型壓縮器。

三、固定型高壓壓縮器

高於 100 psi 之固定型高壓壓縮器，通常設於轉運站內⁽¹⁸⁾ 或特殊之前置處理場內，前者係在小型垃圾車抵達轉運站後，即由高壓壓縮器將垃圾壓成矩形方塊推入大型貨櫃車內或先傾入貯坑內再入貨櫃壓縮；後者最先採用此法者，厥為日本手塚 (Tezu ka) 公司⁽⁵⁾，用高壓壓力 300 氣壓 (4,410 psi) 精密設備逐步使垃圾減少體積，於固定容器內將垃圾壓成 1 至 1.5 立方公尺之體積，最終垃圾之密度為每立方公尺約 1 公噸，再以鐵線或鐵絲網捆包後，以瀝青、混凝土等覆蓋進行填海。惟據世界有關文獻之報告及前章分析此種方法因經濟與技術上之限制，並非一良好的垃圾處理方法⁽⁴⁾。日本環境衛生中心亦否定此種方法之使用⁽¹⁹⁾，該公司爰研究修正其處理方式，並以處理粗大垃圾或無機物垃圾為主，在日本已有 15 座壓縮捆包廠，27 處壓縮破碎場與 2 處破碎切斷場^{(4) (5)}，這種處理方式之先決條件，家庭垃圾應先實施分類，否則無法使用。國內亦有此種實驗廠，如淡水鎮之宇洲纖維股份有限公司使用「連續加壓式垃圾處理法」，惟對於二次污染防治等未予注意。

四、密集器 (Densifier)

主要目的為垃圾衛生燃料 (Refuse Derived Fuels)，最終製造過程之彈丸處理 (Pelletizing)，是包括鋼模內一密集或稱壓縮射出系統，孔

徑為 6 公厘至 32 公厘，長度可達 38 公厘，全美有八家密集器工廠⁽²⁰⁾，其他各國使用者尚少。

選定各種處理方法，必須配合當地社會、經濟、文化、技術、心理等各層面因素予以評估⁽¹⁶⁾，就前置處理之分析如表三、四，可知壓縮法可為目前使用之方法，就各種壓縮法複選分析結果，車上型壓縮器及固定型低壓式可為目前使用之方法，若家戶分類實施成功後或來往車輛運距超過一小時，必須設轉運站時⁽²¹⁾，則固定型高壓式可使用。（註：使用貨櫃車運輸不需捆包及外覆物）

第二節 填海法分析

填海法屬垃圾最終處理之一種，最終處理之評估如表五，在目前階段僅衛生掩埋為正分，填海法為負分最少者。填海法可分為下列二類：

一、圍堰填海法

在港灣中或近海地區圍堰，將水抽出後，再填入垃圾，其餘工程與衛生掩埋相同，港灣或近海地區之水深最好不超過十公尺，因圍堰鋼板樁或鋼管樁一般需插入水深三倍以上，防止內外水之流通，故海水過深則所需經費龐大。日本大阪灣與東京灣及川崎市等近海之填海計畫，水深皆十公尺以內，惟其工程費較一般衛生掩埋法仍貴出甚多，前節已作分析，又因生垃圾填海難免對海域環境造成污染，是以日本已規定填海僅可填灰燼及不可燃之無機物，並須配合港灣工程一同進行。⁽¹⁹⁾

二、海岸衛生掩埋

於海岸或河口陸地，築堤後衛生掩埋，此種方法亦可視為衛生掩埋之一種，僅多築一道海堤以防潮位之影響使不致流入基地內。

一般而言，臺灣東部因多岩岸，腹地不大，且離岸不遠處即為深海，故上列二種方法皆不宜採用；西部海岸多砂岸，腹地大，可供實施地點較多，惟臺灣西部沿海所面臨者為臺灣海峽，而非類似日本之瀨戶內海，故受風浪影響較大，其工程造價亦將較高⁽⁷⁾。目前可選擇適當地點進行此一種方式以紓解垃圾處理之壓力；至於第一種僅待焚化爐大量興建後，處理產生之灰燼及自家戶分

類後收集之無機物兩類累積，足夠數量後並配合港口興建計畫共同進行，惟粗估尚需十年以上方能順利實施而無後遺症，是以目前研究壓縮填海地區之選擇僅限於海岸衛生掩埋地區之選擇而已。

表 三 前置處理初選分析例

評估因素 \ 項目	篩選	粉碎	壓縮	分離
1.環境清潔	-5	-5	-2	-5
2.廢污水	-5	-5	-2	-5
3.空氣污染	0	-3	0	0
4.噪音	-5	-5	-5	-5
5.所需土地面積	-10	-10	-5	-10
6.運輸距離	0	0	+10	0
7.建設費用	-5	-5	-5	-5
8.操作維護費	-5	-5	-2	-5
9.資源回收	0	0	0	+10
10.技術可行性	+10	+5	+10	+5
11.操作難易度	+5	+5	+10	+5
12.社會觀感	0	0	+5	0
13.目標達成	0	0	+5	0
14.國際使用	+5	+5	+5	+5
總分	-15	-23	+24	-10
排名	3	4	1	2

註：1.環境清潔：壓縮造成少許之環境清潔問題，尤其車上型更少，評定為-2，其餘皆造成問題，評定為-5。

2.廢污水：壓縮較易集中處理，評定為-2，其餘皆不易集中處理，評定為-5。

3.空氣污染：除二次粉碎器易造成爆炸及粉碎時易造成塵粒飛揚，評定為-3外，其餘各法皆不易造成，評定為0。

4.噪音：皆造成少量之噪音，評定為-5。

5. 所需土地面積：因車上壓縮不需土地，固定型低壓法及密集器需少量土地，固定型高壓法需大量土地，綜合評定壓縮法為 - 5，其餘各法皆需大量土地，評定為 - 10。
6. 運輸距離：壓縮可縮少體積使每部車輛裝載量大，同等於減少運輸距離（運輸經費），評定為 + 10，其餘皆無作用，評定為 0。
7. 建設費用：皆須投資費用，評定皆為 - 5。
8. 操作維護費：壓縮法於車上型與固定型低壓幾無需費用，密集器僅需少量費用，固定高壓需大量費用，綜合評定為 - 2，其餘各法皆需操作維護費，評定為 - 5。
9. 資源回收：除分離可回收物質評定為 10 外，其餘各法皆無作用，評定為 0。
10. 技術可行性：除粉碎及分離尚有技術待改進外，評定為 + 5，其餘各法皆評定為 + 10。
11. 操作難易度：壓縮法最容易，國內已使用某些方法，評定為 + 10，其餘國內未使用，惟訓練不難，評定為 + 5。
12. 社會觀感：除壓縮社會已有部分收受，評定為 + 5 外，其餘方法，社會上尚未提及，評定為 0。
13. 目標達成：對國內目前需選用之混燒式焚化爐及衛生掩埋法，除壓縮法有效，評定為 + 5 外，其餘各法皆無效，評定為 0。
14. 國際使用：國際上視垃圾性質，地區性皆廣泛使用，評定皆為 + 5。

資料來源：同圖一

表 四 壓 縮 法 複 選 例

項 目 評估因素	車 上 型	固定型低壓	固定型高壓	密 集 器
1. 環境清潔	+0	+0	-10	0
2. 廢 污 水	-2	-2	- 5	0
3. 空氣污染	0	0	0	0
4. 噪 音	-2	-2	-10	-2
5. 所需土地面積	0	-5	-10	-5

6.運輸距離	+10	+10	+10	0
7.建設費用	- 2	- 2	-10	- 5
8.操作維護費	0	0	- 5	- 2
9.資源回收	0	0	0	0
10.技術可行性	+10	+10	+10	0
11.操作難易度	+10	+10	+10	0
12.社會觀感	+10	+ 5	+ 5	0
13.目標達成	+10	+10	0	0
14.國際使用	+10	+10	+ 5	0
總 分	+54	+44	-10	-14
排 名	1	2	3	4

註：1.環境清潔：固定型高壓設備多，造成環境清潔問題評定為 - 10，其餘皆不造成問題，評定為 0。

2.廢污水：車上型與固定型低壓造成少許之滲透水流於地面，評定為 - 2，固定型高壓，廢污水量高，散佈於整廠，評定為 - 5、密集器前必有甚多之處理，其本身不產生廢污水，評定為 0。

3.空氣污染：皆不造成，評定為 0。

4.噪音：車上型、固定型低壓及密壓器產生少許之噪音，評定為 - 2，固定型高壓產生大量之噪音，評定為 - 10。

5.所需土地面積：車上型不需土地，評定為 0，固定型低壓及密集器本身所佔土地有限，評定為 - 5，固定型高壓需大量之土地，評定為 - 10。

6.運輸距離：除密集器其本身之功能非為省運輸經費（距離），而評定為 0 外，其餘各法皆可省運輸經費，評定為 + 10。

7.建設費用：車上型與固定型低壓僅需少許之經費，一為按裝於車上之壓縮器，一為按裝於子車旁之壓縮器，皆評定為 - 2，固定型高壓需甚多之機械設備，通常設於轉運站或獨立之廠房，費用頗高，評定為 - 10，密集器設於垃圾衍生燃料廠之尾部流程中，所需經費不高，評定為 - 5。

- 8.操作維護費：車上型與固定低壓幾無操作維護費，評定為 0，固定型高壓最高，評定為 - 5，密集器次之評定為 - 2。
- 9.資源回收：皆無資源回收之功能，評定為 0。
- 10.技術可行性：車上型、固定型皆可行，評定為 + 10，密集器不能單獨設立，需配合前置處理之粉碎、分類過程，其技術單獨不可行，評定為 0。
- 11.操作難易度：除密集器不能單獨操作發揮功能，評定為 0 外，其餘皆評定為 + 10。
- 12.社會觀感：對車上型即密封式壓縮車，國內已使用，為運輸系統改良之必要措施，社會早已接受，評定為 + 10，固定型低、高壓、社會少許人接受，評定為 + 5，密集器，國內大眾大多不知，評定為 0。
- 13.目標達成：對目前選定之中（焚化爐），後（衛生掩埋）有功能並無副作用者，僅車上型與固定型低壓，評定為 + 10 外，其餘對選定之中、後處理無功能或有副作用，皆評定為 0。
- 14.國際使用：車上型與固定型低壓皆已廣泛使用，評定為 + 10，固定型高壓僅少數國家為特定目的使用，評定為 + 5，密集器不能單獨使用，全美僅有 8 家，歐洲少數幾家皆設於垃圾衍生廠中，況且目前垃圾衍生廠大多失敗，評定為 0。

資料來源：同表 三

表 五 最終處理法評估例

項目 評估因素	拋棄法	填海法	衛生掩埋法	傾棄掩埋法
1.環境清潔	-10	- 5	0	-10
2.廢 污 水	-10	- 5	0	-10
3.空氣污染	0	0	0	-10
4.噪 音	0	- 5	- 5	-5
5.所需土地面積	0	0	-10	-5
6.運輸距離	-10	- 5	0	+5
7.建設費用	- 3	-10	- 3	0

8.操作維護費	- 3	-10	- 5	0
9.資源回收(土地)	0	+10	+ 5	- 5
10.技術可行性	- 5	+10	+10	+10
11.操作難易度	-10	- 5	- 5	0
12.社會觀感	+10	+ 5	+ 5	-10
13.目標達成	- 5	+ 5	+10	-10
14.國際使用	-10	+ 5	+10	-10
總 分	-56	-10	+12	-60
排 名	3	2	1	4

- 註：1.環境清潔：拋海法與傾棄填埋皆造成環境清潔問題拋海法主要為外露、紅潮、傾棄填埋造成惡臭、害蟲孳生等問題，皆評定為 - 10；填海法當填生垃圾時易造成紅潮（廢水外洩），評定為 - 5，適當之衛生掩埋法，環境清潔問題可達成，評定為 0。
- 2.廢污水：拋海法造成海洋污染，傾棄掩埋法滲透水外溢，皆評定為 -10，填海法若填生垃圾（填灰燼或建築廢土較無問題）亦易滲出廢污水至海洋造成海洋污染，評定為 - 5，衛生掩埋法不造成廢污水，評定為 0 分。
- 3.空氣污染：除傾棄填埋法因厭氣分解或自然燃燒產生空氣污染，評定為 - 10 外，其餘皆不造成空氣污染，評定為 0。
- 4.噪音：拋海法遠離人煙，又無機械大量產生噪音，評定為 0，其餘皆於場地產生噪音，評定為 - 5。
- 5.所需土地面積：拋海法與填海法皆不需土地，評定為 0，衛生掩埋耗地最多，評定為 - 10，傾棄填埋所需土地較少（大約為一半），評定為 - 5。
- 6.運輸距離：衛生掩埋法為正常之運輸距離，評定為 0，傾棄掩埋隨處可選擇省略路線，評定為 + 5，填海法增加路上運輸，評定為 - 5，拋海法除路上運輸外尚需駁船運輸，評定為 - 10。
- 7.建設費用：傾棄填埋無需建設費用，評定為 0，衛生掩埋需集氣、集水、水處理工程，評定為 -3，拋海法需前處理設備及駁船設備等，評定為

- 3，填海法較衛生掩埋法尚多防水設施加強及圍堰等，經費多三~四倍，評定為- 10。

8. 操作維護費用：傾棄填埋幾乎無此費用，評定為 0，衛生掩埋每公噸 7 ~ 15 美元，評定為 - 5，填海法約為每公噸 20 美元，評定為 - 10，拋海法較衛生掩埋便宜，約為每公噸 5 美元，評定為 - 3。
9. 資源回收：傾棄填埋破壞地表土地，評定為 - 5，衛生掩埋改良地表土地，評定為 + 5，填海法製造海埔新生地，評定為 + 10，拋海法無破壞亦無回收土地，評定為 0。
10. 技術可行性，拋海法需先壓縮封閉及駁船操作，又易翻船評定為 - 5，其餘各法皆可行評定為 + 10。
11. 操作難易度：傾棄填埋國內已使用，評定為 0，衛生掩埋及填海法，國內僅於學習階段，評定為 - 5，拋海法，國外技術皆失敗（因壓縮封閉後之垃圾易破裂，僅於污泥可於船底壓出，易實行，然污泥非垃圾）評定為 - 10。
12. 社會觀感：傾棄填埋最不為社會接受，評定為 - 10，衛生掩埋及填海法皆已被接受為 + 5，拋海法遠離人煙處操作，最被鼓勵，評定為 + 10。
13. 目標達成：衛生掩埋可達成垃圾處理最終目標，評定為 + 10，填海法若填灰燼亦達成垃圾最終處理目標，然生垃圾不能達成，評定為 + 5，拋海法雖遠離人跡之處，然因技術等問題，尚製造海洋髒亂外，尚為病媒傳佈體，評定為 - 10。
14. 國際使用：衛生掩埋法廣被使用，評定為 + 10，填海法除少數國家使用於填灰燼及建築廢棄物，評定為 + 5，拋海法因海洋國際法之約束已不准使用，傾棄填埋法於先進國家亦不准使用，皆評定為 - 10。

資料來源：同表 三

第三章 結論與建議

- 一、垃圾壓縮填海法與焚化灰燼掩埋法以臺北為例，僅就每噸垃圾之建廠投資，折舊、操作維護費作分析比較，二種方法之單位成本差異有限，宜併國民接納度、環境生態與新生地價值等因素作綜合評估，則比較分析結果，始較具客觀可信。
- 二、根據垃圾處理流程分析垃圾壓縮填海應為二個過程，垃圾壓縮為前置處理之一種；填海為最終處理之一種，垃圾壓縮填海為多種組合之一種，並非最佳之處理組合。本研究分就壓縮法與填海法加以探討，應屬正確作法。
- 三、評估臺灣地區使用之各種前置處理中，以壓縮法為宜。而壓縮法中急待推動使用者，以車上型壓縮器與固定型低壓壓縮器為主。
- 四、臺灣地區密封式壓縮車為數甚少，今後垃圾車汰舊換新時應以購置密封壓縮車為宜。
- 五、為提高垃圾儲存效率，對於密集住宅區，商業區或市場等放置子車時，應附設低壓壓縮器。
- 六、俟家戶垃圾分類成功後，或垃圾車運輸距離超過一小時以上，必須設置轉運站時，宜在轉運站中，設置高壓壓縮器，至特殊處理廠設置高壓壓縮器及包紮後外覆物，應注意廠內之二次公害及環境衛生措施，俟經濟評估可行後再議。
- 七、臺灣地區目前可使用之最終處理方式中，以衛生掩埋或與衛生掩埋相似之海岸衛生掩埋兩種。臺灣東部海岸多屬岩岸腹地太小，復因離岸不遠處即為深海，故不宜採用海岸掩埋，西部海岸雖有多處地點可供選擇，惟受風浪影響，工程造價偏高，僅可擇點進行示範計畫。
- 八、可能提供海岸掩埋地點，尚需就海岸地形、地質，陸域或海域生態環境，交通運輸狀況作進一步之探討，並就經濟、技術、環境及民衆接納度等方面，考慮計畫執行之可行性，就現階段而言，宜以海岸掩埋法為主，至圍堰填海則應從長計議。

參 考 資 料

- (1)「變滄海成良田，化腐朽為神奇—平塚式垃圾壓縮處理法」，淨國興業股份有限公司，1984。
- (2)「臺北市垃圾壓縮廠評估摘要」臺北市議會垃圾處理問題公聽會，中興顧問社，71年5月1日。
- (3)「連續加壓式垃圾處理法簡報」，宇洲纖維股份有限公司，73年。
- (4)Kirov, N. Y. Principle of Waste Management, Ringsway Printer, DTY., LTD., Australia, Chap. 10, 1975.
- (5)Tezuka Refuse Compaction Plant, 1984.
- (6)廢棄物處理設施研修會講義，日本環境衛生中心，1984。
- (7)莊世隆，「垃圾之海岸衛生掩埋」，垃圾衛生掩埋技術研討會專輯，72年10月。
- (8)「內湖垃圾焚化爐性能及經濟效益評估報告」，中興工程顧問社，71年3月。
- (9)「掩埋處理」，垃圾之流動P.13. 1984.
- (10)呂世宗、劉鼎文，「臺中市垃圾集運成本分析與新建垃圾衛生掩埋場規劃設計實例」，垃圾衛生掩埋技術研討會專輯，72年10月。
- (11)焚化爐設置有關問題第五次會議工作報告」，中興工程顧問社，72年11月。
- (12)「臺灣地區都市垃圾標準衛生掩埋處理之研究」，經建會住都處，P. 55，72年6月。
- (13)「一般廢棄物衛生掩埋場設置準則」，衛生署環保局委託環境保護學會擬訂，P. 3.73年。
- (14)「臺北都會區及桃園中壢地區垃圾處理區區域性規劃第一階段工作報告(附錄)」中興顧問社 PP. VI 1~VI 41，73年1月。
- (15) Tchobanoglovs G., etcs, Solid Waste, Mc Graw-Hill Book Co., 1977.
- (16)潘丁白，「臺北市垃圾處理方法選擇評估」，中國工程師學會73年度年會專

題討論，73年11月。

(17)陳龍吉，「垃圾儲存與收集系統之研討」，中國工程師學會73年會專題討論，73年11月。

(18)劉偉成，「垃圾轉運站」，垃圾衛生掩埋技術研討會專輯，72年10月。

(19)潘丁白、施麟、蕭寬裕、陳焯立，「赴日研習垃圾處理報告」，民國74年1月。

(20)Energy from Munciple Waste Research-Workshop Proceedings, Session 3: RDF Combustion, DOE, Feb. 22-24, 1984.

(21)Cointreau, S. J., "How to do more with less Reducing Solid Waste Service Costs", National Development Asia, Nov.-Doc., 1984.

固體廢棄物填海有關之問題及工程規劃之考慮

莊世隆 *

一、前言

台灣地區地窄人多，據民國74年底統計資料，每日垃圾清運量約達13,300公噸，其中採堆肥及焚化處理部份不及百分之二，餘者大都於山谷、窪地、河邊或海濱掩埋甚至拋棄。由於以往垃圾處理一向被忽視，致衍生二次公害，造成民衆自力救濟情形多起，垃圾大戰消息常見諸報端，垃圾處理問題方引起各界重視，目前都市垃圾處理已列爲行政院十四項重大建設之一，正積極推動中，但不論台灣地區垃圾中間處理將來採用焚化，堆肥或衛生掩埋，其最終處置仍以填埋爲依歸，亦即物終歸於土。

除上述每日垃圾量相當驚人外，台灣地區每日經濟活動所產生之事業廢棄物，其數量總計更爲一般家庭垃圾量之數倍，由於迄未建立良好管理及追蹤制度，上焉者併同一般垃圾處理，下焉者任意拋棄，對自然環境之不良影響更大更遠。

台灣地區係屬島國地形，人口密度高居全世界第二位，可適切提供廢棄物掩埋處置之土地資源有限，且將日益難覓，如何利用四面環海之優越地理條件，仿效荷蘭、日本成功之先例，利用無害性固體廢棄物填海造地，增加國土利用，誠爲今後應予注目之課題。

二、基本理念

(一)固體廢棄物處理應遵循自然界物質循環法則。

大自然有水之循環，近代化學界有碳素及氮素循環，人類生命方面有佛家輪迴之說，均強調物質循環倫理。

人類活動所產生與排出之廢棄物簡別之，可分成有機性及無機性兩大類，

*中華顧問工程司水及環境工程部正工程師

有機性廢棄物排出自然界，成爲細菌之營養分，被分解成 CO_2 及水分，前者成爲藻類及植物光合作用之要素，後者被生物吸收成爲有機物之構成要素，完成物質循環。無機性廢棄物之循環則頗爲複雜，有如佛教釋尊所稱世間無緣之人不適用於輪迴之說一般，除部份可藉工程技術回收使用外，大都向自然界排出，部份被水溶解，則污染水質，部份則成廢氣排出；造成二次公害情形所在多起。但此項污染並非無限性擴散，而係留存於海底或掩埋地點。

爲防止廢棄物處理所可能造成之污染，固體廢棄物處理應防止造成對環境之污染，並促使處理方式能依物質循環法則爲前提，或實施不礙物質循環之中間處理，例如生垃圾、水肥、下水污泥、有機事業廢棄物則以物質循環還原爲主，而無機性產業廢棄物如垃圾及污泥之焚化殘渣等，含有害重金屬之廢棄物，則應以處理穩定後不使污染擴散方式填埋處理，使不致妨礙一般物質循環。

(二)固體廢棄物質與量均不斷變化

固體廢棄物包括一般家庭垃圾及事業廢棄物。其中一般家庭垃圾，隨着工商業之發展及生活水準之提昇而日趨多樣化與複雜化，如塑膠類、保麗龍免洗餐具等之大量使用，益增處理之困難，而須付予更多之心力。至於量方面，亦隨着生活水準之提高及生活習慣之改變，每人每日垃圾量有逐年上昇之趨勢，據民國74年統計資料，全台灣地區平均每人每日垃圾量約0.74公斤每日須處理之垃圾量約13,300公噸。

事業廢棄物種類繁多，包括灰渣、污泥、廢酸鹼、礦滓、建築廢料、廢土、金屬屑、廢橡膠、動植物殘渣或屍體…等，據行政院衛生署環保局過去四年調查結果，台灣地區年產事業廢棄物約三千萬噸，約爲一般性垃圾之6.2倍，此項數字與日本于1975年之統計資料約5.8倍極爲相近。

(三)廢棄物處理須付予相當之代價。

廢棄物之處理或處置，不論中間處理或最終處置，均須付予相當代價，一般垃圾不論衛生掩埋，堆肥處理或採用焚化處理，每公噸處理成本自新台幣數百元至二千元不等，至若有害性事業廢棄物之處理及處置，所費更高，若仍照往昔未予有效管理，迨環境受到污染後再求補救，則須加倍償還，甚至禍延下一代。例如日本大阪北部填埋地，於1960年代曾將潤滑油漬之廢棄物填埋於地下，上覆2~3公尺泥土，當時僅以爲此爲不良土地而已，未料不旋踵，即

發生雨後地面起泡，附近倉庫地基鋼骨基礎迅速腐蝕，地下連續壁建好不出數月，鋼筋及混凝土均受腐蝕，最後只好將之挖開摻消石灰攪混，送至遠洋拋棄。

(四) 固體廢棄物最終處置之掩埋處所日益難覓

固體廢棄物之處理，除部份可資源回收使用者外，不論採用何種中間處理方式，其最終處置必以掩埋為依歸，所謂物終歸於土。台灣地區地窄人稠，能用以掩埋之窪谷日益難覓，終必有窮時。

(五) 固體廢棄物填海計畫可與其他重要建設相輔相成

固體廢棄物填海若能事先予以妥善規劃，以長期眼光配合其他重要建設如港灣擴建、機場新闢等重要建設，預為籌謀，則當填埋完成之日，亦即新增國土開始利用之時，此方面東鄰日本之經驗應可為借鏡。

三、固體廢棄物填海之內涵及適用對象

(一) 固體廢棄物填海之內涵

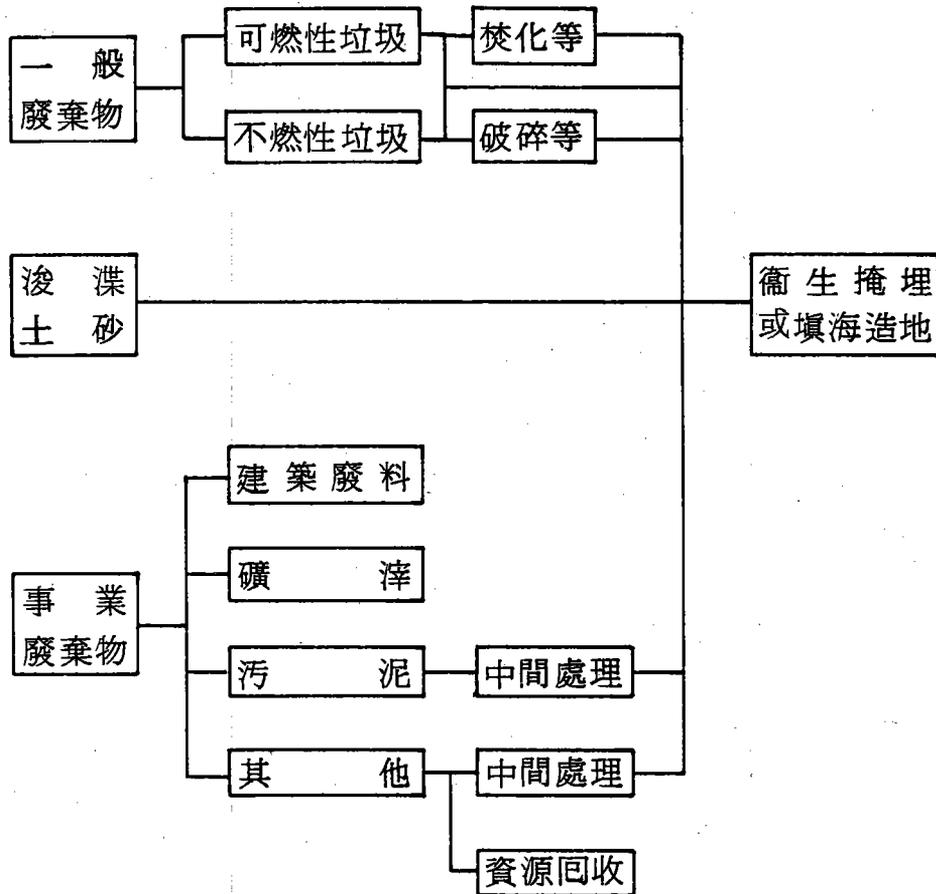
所謂固體廢棄物填海，並非將廢棄物逕行往海洋拋棄（如早期之紐約市），而係以工程技術，於沿海地帶之岸邊或淺海地區與海面爭取空間，以隔絕方式圍成大面積，供填無害性固體廢棄物之謂。

(二) 適用對象

適用於填海造地之固體廢棄物可概分為浚渫土砂，一般廢棄物及無害性事業廢棄物叁大類，詳如表一所示。可以納入掩埋之基本原則為將可能造成環境之衝擊減至最低為首要需求，其個別納入基準（如必要之前處理）概述如次：

1. 灰渣、金屬屑、碎玻璃、陶瓷碎片、礦渣及建築廢料等可不須前處理。
2. 木、紙、纖維類可先焚化或逕行掩埋。
3. 動物屍體須先經熱灼減量15%以下之焚化，或參照廢棄物清理法規定處理。
4. 有機性污泥須先經脫水或焚化，無機性污泥若屬無害性則不須前處理。
5. 廢塑膠、橡膠類應將先破碎或剪斷為小於15公分以下，或先經溶融、焚化等前處理。

表一、適於填海造地之固體廢棄物



6. 含塵類須先捆包良好，避免向空氣中飛散。

7. 廢油、廢酸等不可逕行納入掩埋。

據日本有關廢棄物處理法之規定，納入掩埋之廢棄物，須先採取樣本作溶出液檢驗，有害物質之溶出值須在容許限值基準內，詳如表二所示。

四、固體廢棄物填海工程之範疇

(一) 工程基本需求

1. 提供安全穩定之保護設施，不使填埋之廢棄物在惡劣天候情形下發生飛散或流失，且不使暴潮海水侵入基地。

2. 掩埋基地之設施須能防止滲出水污染公共水域或地下水質。

3. 掩埋基地不使成爲老鼠、蚊、蠅等虫害孳生場所。

4. 有關之公共設施須能防止惡臭四處飄逸。

表二、日本有關廢棄物掩埋處置對象，有害物質排出規定基準

規制根據	廢棄物處理法（環境廳通告 14號之溶出檢驗值）		大阪市北港處分 地納入基準※	水質汚濁 防止法
排出物種類	工廠污泥及其處理物	指定下水污泥 礦滓等	由事業單位 排出納入者	特定發生 源之排水
檢驗方法	溶出試驗	溶出試驗	溶出試驗	含量試驗
烷基汞化物	不檢出	不檢出	—	不檢出
總水銀	不檢出	不檢出	0.002ppm以下	不檢出
鎘	0.3ppm以下	0.3ppm以下	0.1ppm以下	0.1ppm以下
鉛	3ppm以下	3ppm以下	1ppm以下	1ppm以下
6價鉻	1.5ppm以下	1.5ppm以下	0.5ppm以下	0.5ppm以下
總鉻	—	—	—	2ppm以下
鉍	1.5ppm以下	1.5ppm以下	0.5ppm以下	0.5ppm以下
銅	—	—	—	1ppm以下
鋅	—	—	—	5ppm以下
氟	1ppm以下	1ppm以下	1ppm以下	1ppm以下
有機磷	1ppm以下	1ppm以下	1ppm以下	1ppm以下
P C B	0.003ppm以下	0.003ppm以下	0.003ppm以下	

(二)工程範疇

1.工程表現方式

①海洋掩埋造地方式

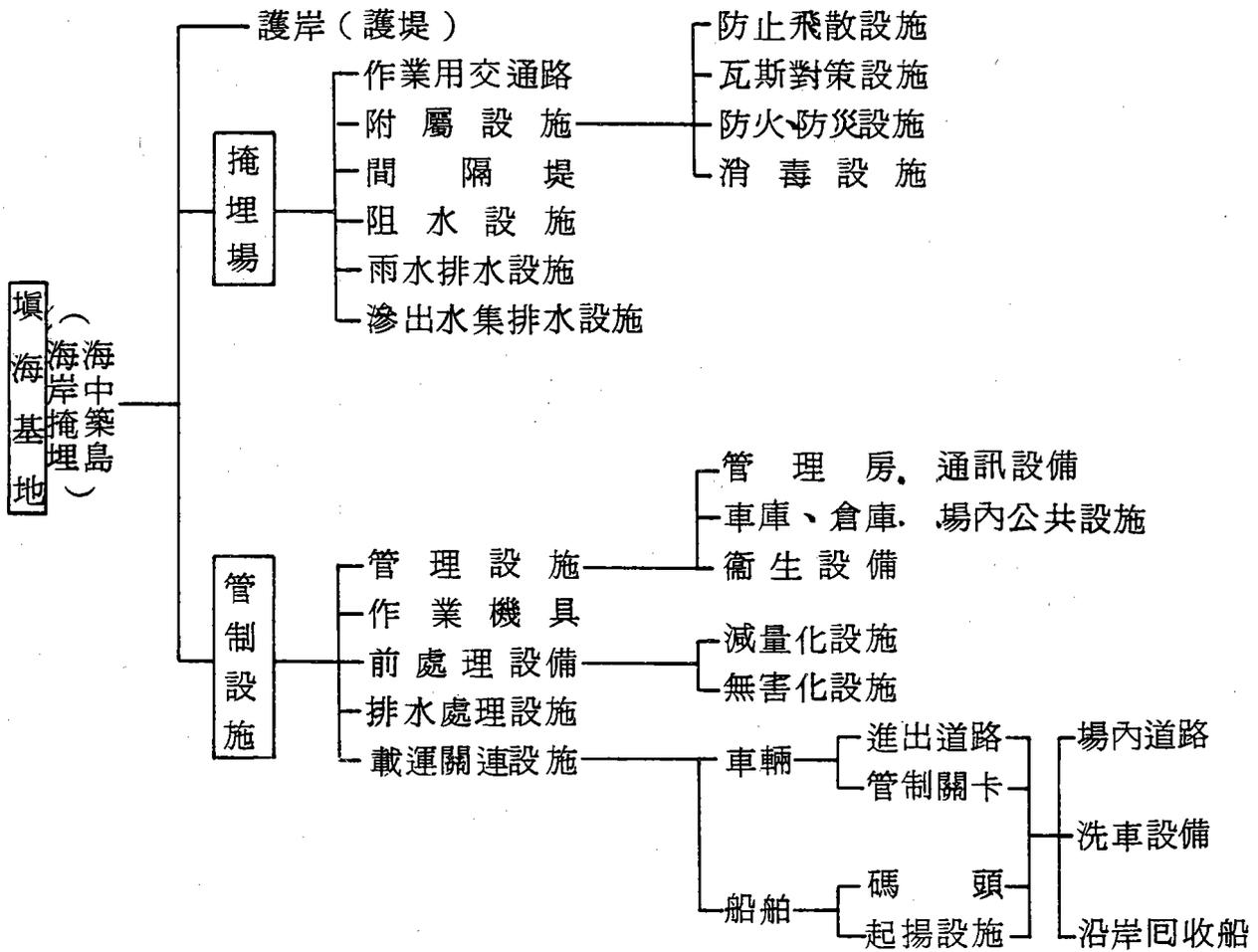
係利用一邊靠岸，三邊採人工築造護岸方式，圍成掩埋基地，以周圍護堤兼作進出運輸道路。

②海中築島造地方式

在離岸不遠淺海地帶，以工程技術圍築封閉之護堤，形成掩埋填築之基地，填料運送視離岸之遠近或採架橋或以船舶運送。

有關各項設施詳細列如表三所示。

表三、固體廢棄物填海工程範疇



2. 填埋作業方式

填海作業進行時，對於留存護堤內海水之處理方式分成三種方式：

- (1) 海水完全留存即逕行填埋。
- (2) 填埋前先排除部份海水。
- (3) 將海水完全排除後方進行填埋。

第(3)種方式與陸地掩埋相同，有關作業及環保之考慮較容易，但由於海水完全抽除，護堤內外壓力差大，構造上須特別考慮，經濟上花費高。

第(1)(2)兩種方式，須考慮廢棄物傾入海中引起浮游現象，可就掩埋規模，將掩埋基地以中隔堤劃分成較小分區，並以之作為運搬道路。對於上下水污泥，應先予固化處理，可避免因海水影響造成流動現象。於填埋作業區設置浮游防止浮桶或隔幕，可將廢棄物局限於特定區內。

當填埋至高出水面以上，與一般陸地填埋並無大差異。

五、固體廢棄物填海計畫之推動

固體廢棄物填海造地計畫之實施，並非一蹴可即，自計畫構想起，包括填埋對象、填埋基地工程環境、沿海海象等基本資料之蒐集分析，不同階段需求之規劃，環境影響評估、工程設計、施工建造及正式開放掩埋為止，需耗費相當之人力及時間，其有關作業流程示如表四，並詳細說明如次：

(一) 規劃及基本設計階段

固體廢棄物填海計畫為大型複雜之計畫，尤若配合港灣之擴建，牽涉範圍更廣，必須經詳細之規劃研究，確定技術可行、經濟可行之外，尚須達到環境保育之需求，對於沿岸地區環境之衝擊減至最小。此階段須詳細蒐集各項環境現況資料，包括海域基本資料（海底地形、地質、海象、生態、漁生物…），基地附近相關地區之地文資料，預計填海之廢棄物性質及數量推估，及其他可能影響此計畫實施之港灣計畫、公害防治計畫、都市計畫、區域計畫等計畫或法規，期能相輔相成。

由於此種計畫之實施，影響深遠，對於海象及生態資料之蒐集期能有五年以上連續紀錄，方具統計上意義，提高其可信度，規劃或基本設計階段，為探討基地護堤對沿海自然環境之影響，除數理模擬外，尚須視情形需要辦理海域水工模型試驗，以為驗證。

(二) 環境影響評估

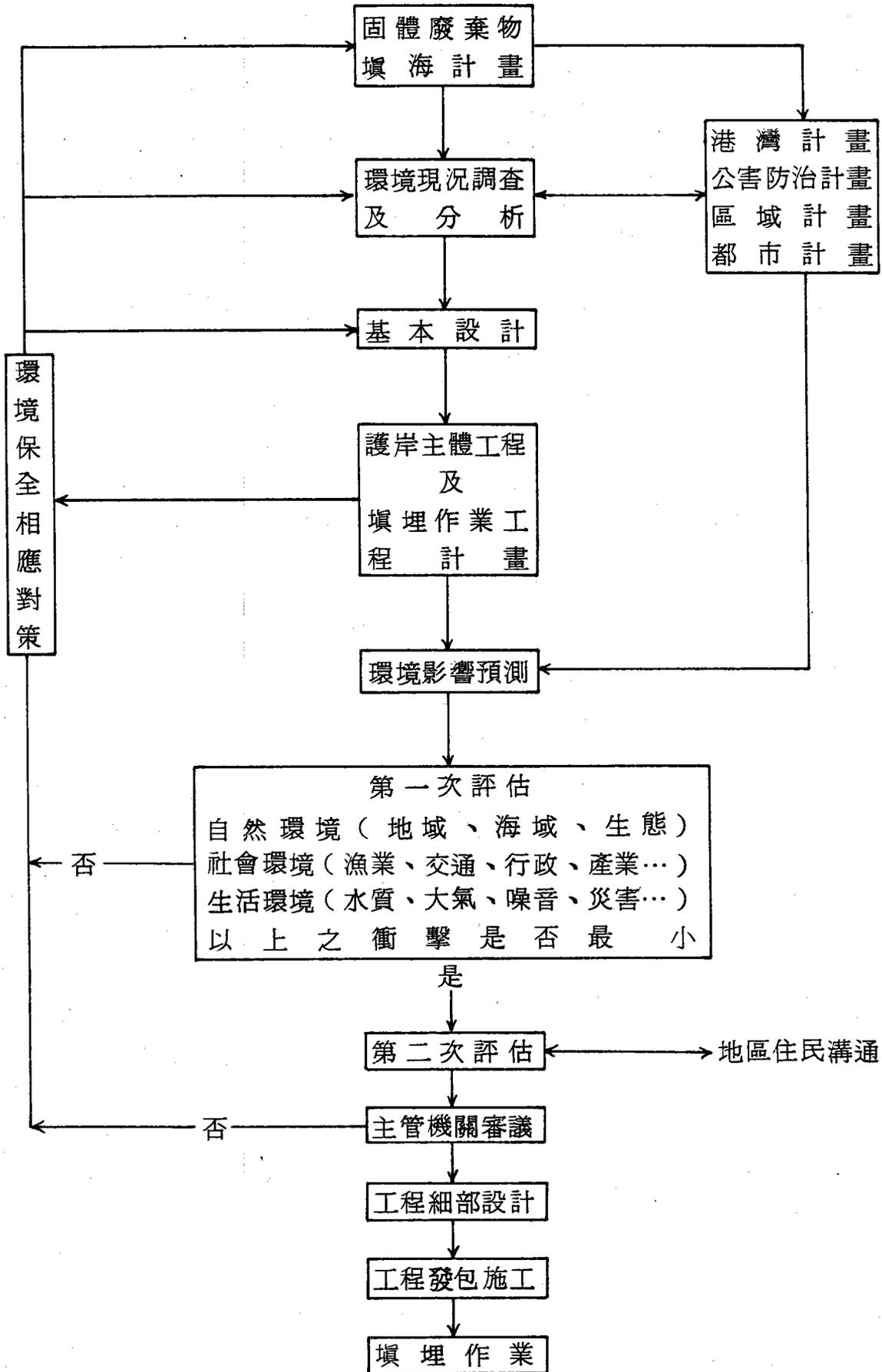
固體廢棄物填海工程，不論係配合港灣擴建或單獨填海造地增加國土利用，均屬重大建設計畫，於完成規劃及基本設計後，即須辦理環境影響評估，探討執行此計畫對自然環境衝擊之深遠程度，提出減輕衝擊之相應對策，俾主政者及社會大眾瞭解環境影響之大小，俾利計畫之推動。

評估內涵上應就海域環境保育觀點，水產資源觀點，沿海生物自然生態保育觀點，國土利用觀點，公害防治觀點，地區廢棄物處理觀點，海防安全問題觀點等廣泛研究其衝擊程度及相應對策。

(三) 工程設計、施工及填埋作業

通過環境影響評估後，即可進行工程細部設計，受理委辦之專業顧問工程

表四、固體廢棄物填海計畫實施程序



司，可參酌規劃階段之理念及各方面之意見，辦理工程之細部設計及協助業主發包施工，工程進行至相當階段，可應計畫之需求，開始固體廢棄物填埋作業。

四、公害監測系統

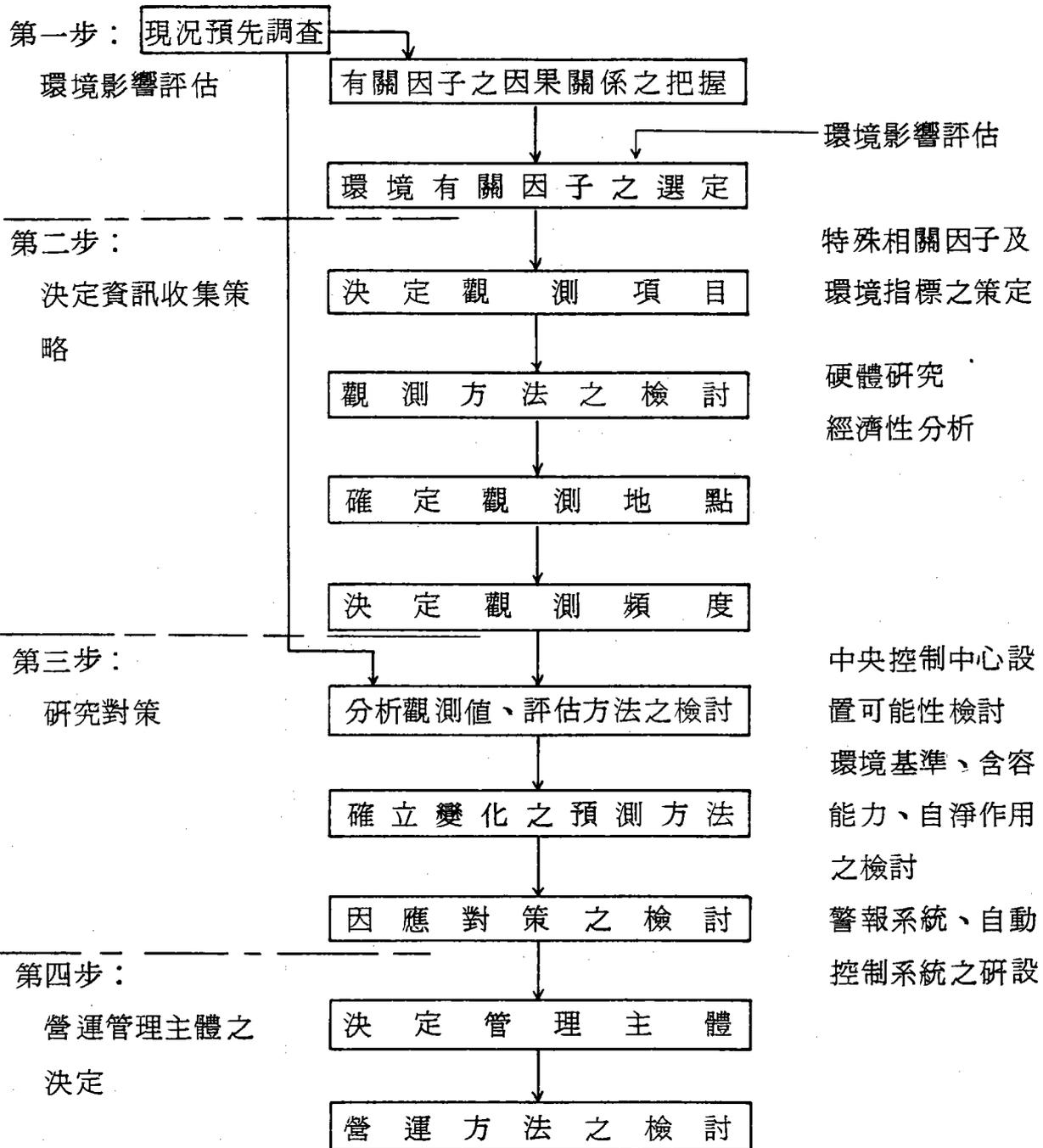
為防患因廢棄物填海可能導致二次公害問題，及造成自然生態不可彌補之損害，除於計畫實施之前須掌握有關環境因子之變化影響，預測生態系可能之變化，並儘量抑低其不良影響外，尚須于計畫實施後，針對環境變化及相關因子作常時監測。

實施監測之先，須事先將對象海域之特性及生態環境資料能確實把握為前提，其檢核項目詳列如表五，視地區特性及條件作最利之取捨。

表五、海域特性之檢核項目

項 目	環 境 因 子	
地理條件	海岸地形	開放度、潮間帶影響範圍及底質
	海底地形	水深、海底坡度、底質
海 象	潮流、波浪、潮差、水之交換	
環境品質	水 質	水溫、PH、鹽分、濁度、鹽類、有機物、有害物質
	底 質	泥溫、PH、粒度組成、氧化還元電位差、鹽類、有機物、有害物質
生 態 系	生育環境	藻類、魚類產卵場所、趕潮砂灘
	生物相	趕潮砂灘生態群系、砂灘海岸群系、岩礁生態群系
使用情況	漁 業	養殖業及海洋漁業
	污染負荷	

有關環境因子因果關係之掌握，及至營運策略一連串之工作流程示如圖一。



圖一、環境監測系統工作流程

六、工程規劃須考慮之問題

(一)場址區位條件

研選固體廢棄物填海場址之區位條件必須審慎考慮下列事項：

- 1.場址位置與固體廢棄物填埋料來源不宜太遠。
- 2.計畫地點客觀條件是否適宜，例如沿岸地形、海底地層、水深、海象、漂砂、海洋生態等自然條件無特殊問題。
- 3.遠離港口航道、軍事要塞、海濱浴場、主要漁場等。
- 4.檢討未來新生地利用或港灣闢建計畫相配合之可能性。

(二)開發規模

填埋基地規模至少須能使用十年以上方經濟，由於填海基地建造成本頗高，必須容積夠大才能降低單位成本，達到經濟可行，以國外之經驗，固體廢棄物填海計畫，與其他港灣開發計畫配合實施，可得相輔相成之效。配合計畫之性質與開發目的之不同，將影響容許進場填埋固體廢棄物之類別及掩埋作業方式。

(三)填海基地工程之考慮

固體廢棄物填海計畫之實施，關係沿岸都市發展及港灣機能，故須對周邊水域有關之環境保育應予充分考慮，而基地外圍之護岸（護堤），更為整個工程成敗之關鍵，茲分就基地有關工程之考慮述之如次：

1.護堤基礎之強化

填海基地地層大多軟弱，易受沿岸流、潮汐及地下滲流水之影響，於構築護堤時均須予以強化處理。

2.護堤構造

護堤構造須符合港灣構造物，防止海洋污染及穩固處理廢棄物等需求，其構造型式及尺寸須就基礎承载力，貯留穩定性，本體自重沈陷，填埋後受側壓影響可能造成之水平變位，防波高度及防止滲透性等各方面加以考量研選。

3.分隔堤之設置

為分期實施及配合廢棄物分類填埋，供日後便於新生地之利用，於規劃設計時即須與外圍護堤併行設置及施工，尚可兼為作業道路及日後公共設施管線

之通路。

4. 雨水之排除

為減輕填埋地垃圾滲出水之處理負荷，固體廢棄物填埋高出海平面後，須於基地四周建造寬約 1 公尺之排水系統。最終完成面亦應維持約 1 ~ 5 % 之坡度。

5. 衛生掩埋諸項措施，例如排水系統，垃圾滲出水收集系統、瓦斯氣排放系統、場基防滲措施、防止紙張塑膠袋飛揚設施、消防設施、每日覆土、中間覆土及最終覆土等…，均應配合填埋作業順序施工。

(四) 二次公害防治問題

固體廢棄物填海稍有不慎，即造成二次公害問題，其中較重要課題有：

- 滲出污水之處理，包括物理化學法與生物處理法。
- 填埋作業水面清潔措施，例如船運廢棄物靠岸昇揚轉運站，或圍堤未合攏前，垃圾漂浮之防患。
- 防止污水入滲堤外。
- 填埋作業中各種蚊、蠅、鼠、鳥類之排除及防患。

(五) 廢棄物運送及填埋作業

施工時填埋對象之固體廢棄物及工程材料之運送，海底浚渫抽砂填埋、水下填埋作業及水面上填埋作業…等施工方式之配合，須先通盤研究規劃。

(六) 新生地利用

填埋後新生地之使用目的（例如公園綠地、農業使用、倉儲用地、運動公園、停車場、飛機場、港灣…）及地面設備，均須事先規劃決定，俾能配合設計施工，如闢為漁港，則護堤消坡構造物可考慮兼作人工漁礁之用；如配合港灣建設，則須考慮船舶靠岸之設施，預先採用直立式板樁護岸；如為建造飛機場，則須考慮全面地盤改良。

七、結論與建議

(一) 固體廢棄物填海，若客觀條件許可，技術上應屬可行，惟於計畫實施前須對計畫地點作各種基本資料之詳細蒐集、調查及分析，俾供設計、監測及防患二次污染之依據。

(二)台灣地區因土地資源有限，可供填埋固體廢棄物之場所日益難覓，尤以西部平原地帶問題更為嚴重，而西部濱海地帶，就客觀條件言，具推動固體廢棄物填海之潛力，若能積極推動此項計畫，初期水面下填埋作業可用建築廢棄物及礦滓為對象，俟高出水面後再填埋一般垃圾，在作業上及公害防治上較無困難，並可紓解目前建築廢料到處傾棄之弊。

(三)有關固體廢棄物於海域之填埋法令，國內仍付之闕如，為防止二次公害於未然，應及早參考國外先進作法，研計此方面之法規，以為未來推動此項計畫之準繩。

(四)固體廢棄物填海計畫可配合重要建設實施，則建設所需費用可分由廢棄物處理單位及配合單位比例分攤，財源較易解決，亦可降低由單一事業單位承辦時所需之經費負荷。但宜有整體計畫之考慮，並由有關機關成立聯合作業小組負責推動及聯繫，方能收事半功倍之效。

參考文獻

1. 「七十四年度台灣地區市鄉鎮垃圾水肥清理狀況調查資料彙編」行政院衛生署環境保護局。
2. 陳章鵬、莊世隆：「日本廢棄物填海造地考察研究報告」。
民國66年，中華顧問工程司通訊15期。
3. 莊世隆：「垃圾之海岸衛生掩埋」民國72年，行政院衛生署環保局「垃圾衛生掩埋技術研討會專輯」。
4. 陳章鵬：「垃圾海岸衛生掩埋」民國73年中國土木水利工程學會「固體廢棄物處理技術研討會」。
5. 本多淳裕：「ノーモア夢の島」1977，日本環境衛生センター。
6. 田中勝、高月紘：「現代のごみ問題」1985，中央法規出版（株）。
7. 「埋立計畫の實施と環境影響調査」1976，フジ・テクノシステム。
8. 「環境白書」1983，日本環境廳。

台灣北部地區垃圾填海之可行性初步研究

黃烱昌* 劉進義** 黃禎祥***

摘 要

台灣北部地區人口較諸其他地區為稠密，尤以台北都會區最為明顯，人口之密度高達每平方公里約四百二十人，故北部地區之土地使用受到極激烈之限制，加以台北盆地囿於自然條件，使得可供垃圾掩埋之可用土地十分難求。為解決北部日益嚴重之垃圾問題，以及因應未來北部地區整體長遠性發展之需要，應如何有效利用北部地區合適海岸進行築堤填海，以解決垃圾處理上之困難，實為政府今後亟待研究且刻不容緩之重要課題之一。

本文將先簡介若干國外垃圾填海之實例，並依次介紹本社於辦理「台灣地區垃圾綜合處理計畫」中，就所收集北部海岸地區自然條件之資料進行分析及研判，並對可行之地點作初步之篩選，以及研究適合本海岸之築堤方式、填埋方式，進而對可行地點作一初步之規畫及概估開發成本，並對二次污染防治有關問題進行探討，建議垃圾填海未來應繼續研究之方向，以及執行方式供參考。

*中興工程顧問社環境工程部經理
**中興工程顧問社土木工程部正工程師
***中興工程顧問社環境工程部工程師

一、前 言

台灣北部地區，由於工商業發展人口急劇增加，致有限之土地面積上均已作最大限度之開發，迄目前為止陸上能被利用作為垃圾掩埋垃圾之地點已漸難覓得。加以近年來民衆對公害及污染警覺性已漸提高，故反對設置垃圾場之聲浪不斷揭諸於報章雜誌，並成為輿論之焦點，故研究如何利用海岸地區築堤填埋垃圾或焚化後灰燼，係為一解決垃圾問題迫切而需要探討之問題。同時基於垃圾填海除可解決垃圾問題之外，尚可增加新生地並予利用，故垃圾填海為一舉兩得之事，值得深入研究。

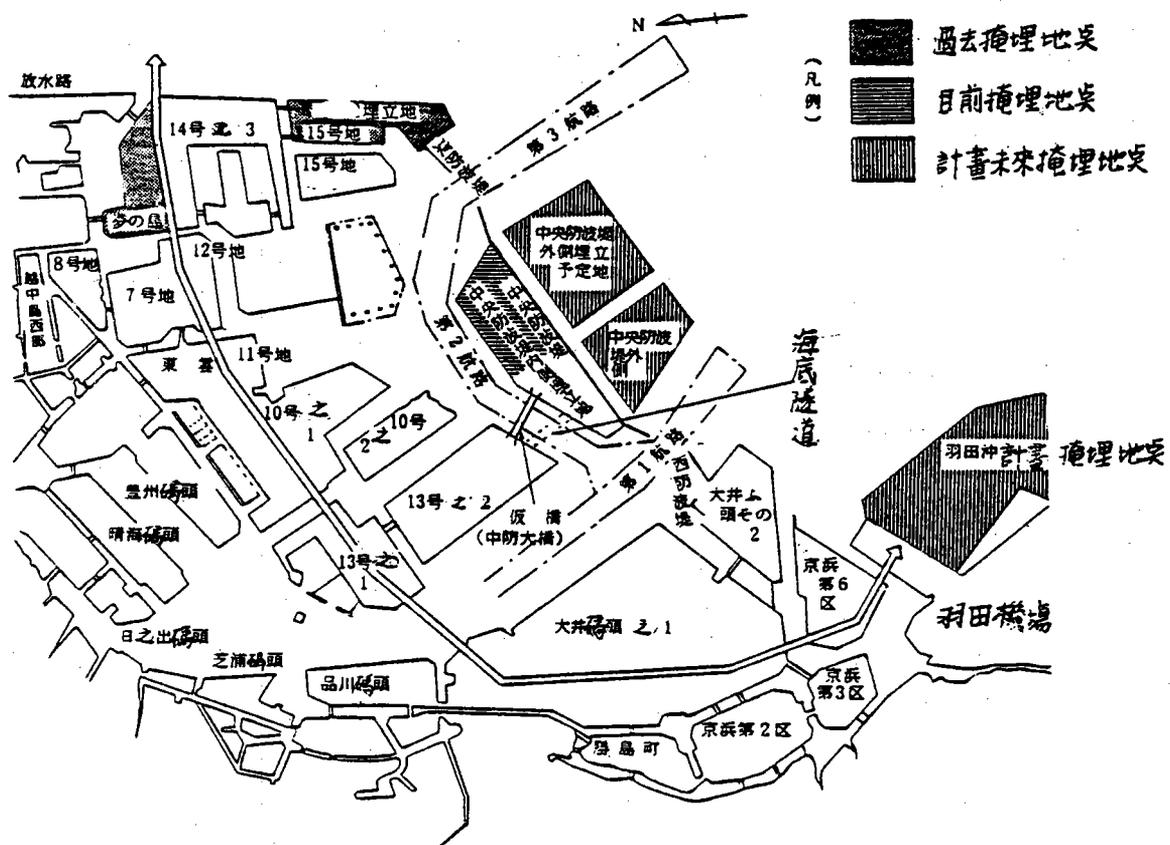
二、國外垃圾填海之實例及探討

國外垃圾填海之實例甚多，其中較為成功著名的，如美國舊金山國際機場是由一部份垃圾所填埋，紐約之 Freshkill 亦是由垃圾所填成之新生地，並計畫作為一區域公園，另外新加坡之機場亦有一部份是由垃圾填成。日本地區過去曾在東京、大阪、橫濱、川崎、四日市、水島、德山等地區進行垃圾填海⁽¹⁾⁽²⁾，而以東京及大阪最為著名，並且最近於近畿圈更進行另一大型區域性垃圾填海之計畫，稱之為「鳳凰計畫」。香港最近亦委託由 Binnie & Partners 研究築堤填海⁽³⁾，茲將上述最著名之東京及大阪垃圾填海有關重要資料摘列說明如表一及圖一至圖七。

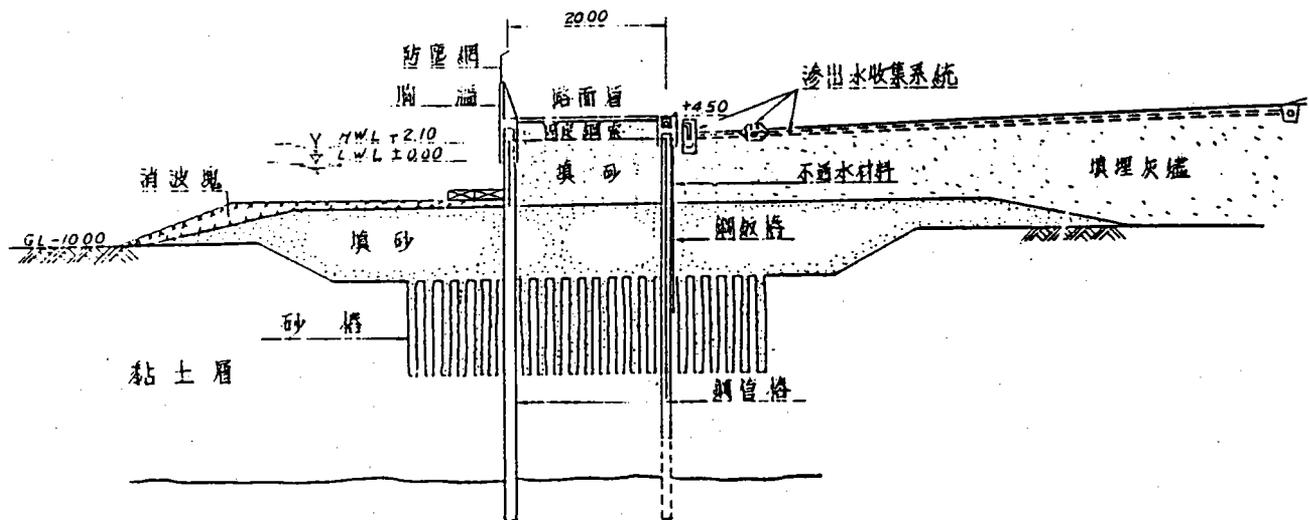
表一 日本東京及大阪垃圾填海重要資料

地 點 項 目	東京中央防波堤		大阪南港處分場	
	內 側	外 側	南 區	北 區
1.掩埋面積 (公頃)	78	314	378	209
2.掩埋容積 ($\times 10^4$ 立方公尺)	1,100	5,800	5,400	2,500
3.建造費用	190 億元 ÷(NT44億)	470 億元 ÷(NT109億)		370 億元 ÷(NT 86 億)
4.單位建造成本) (NT元/立方公尺)	400	188		344
5.堤 型	直立式鋼 管樁堤	直立式鋼管 樁堤	混合式斜 坡堤	混合式斜坡堤及 直立式鋼管樁堤
6.掩埋深度(公尺)	14	18	14	12
7.潮位差				
HHWL	+ 4.0	+ 4.0	+ 4.9	+ 4.9
HWL	+ 2.1	+ 2.1	+ 3.0	+ 3.0
LWL	± 0.0	+ 0.0		
8.堤頂高程	+ 4.50	+ 4.50	+ 4.90	+ 4.90

註：資料來源：埋立計畫の實施と環境影響調査



圖一、日本東京中央防波堤填海位置圖



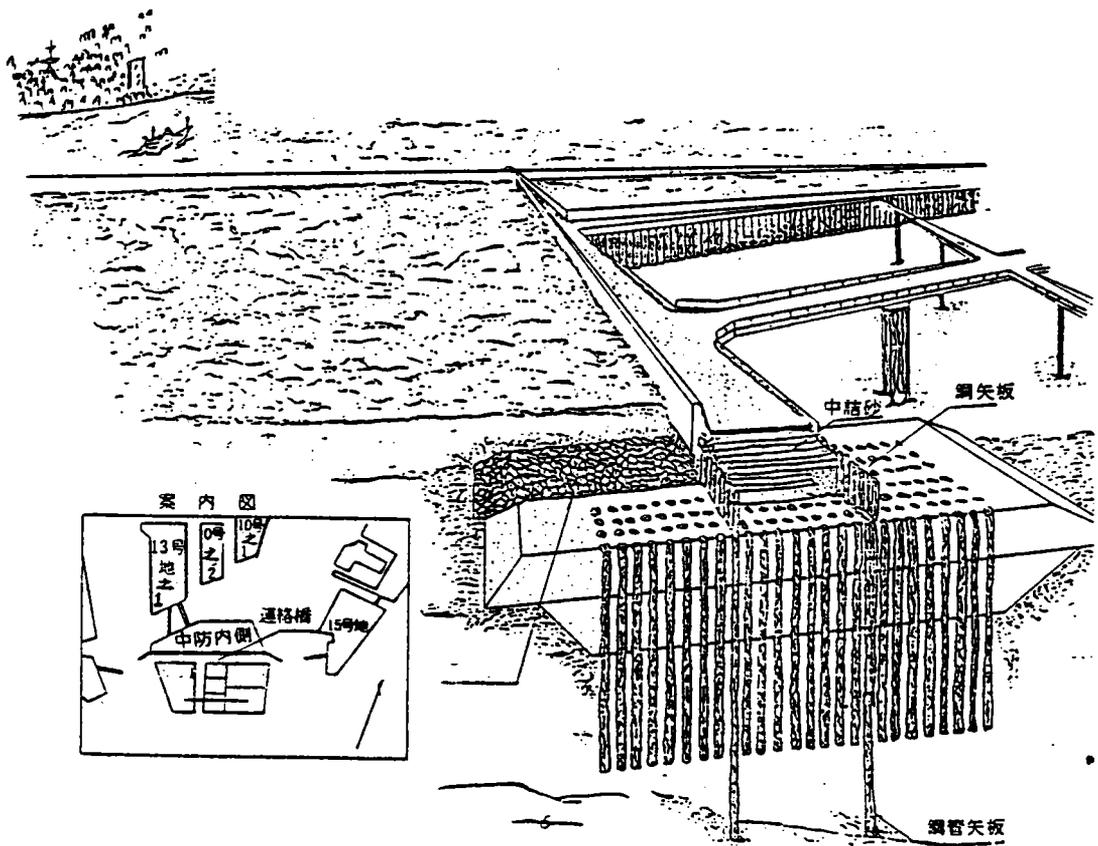
圖二、日本東京中央防波堤南岸海堤斷面圖



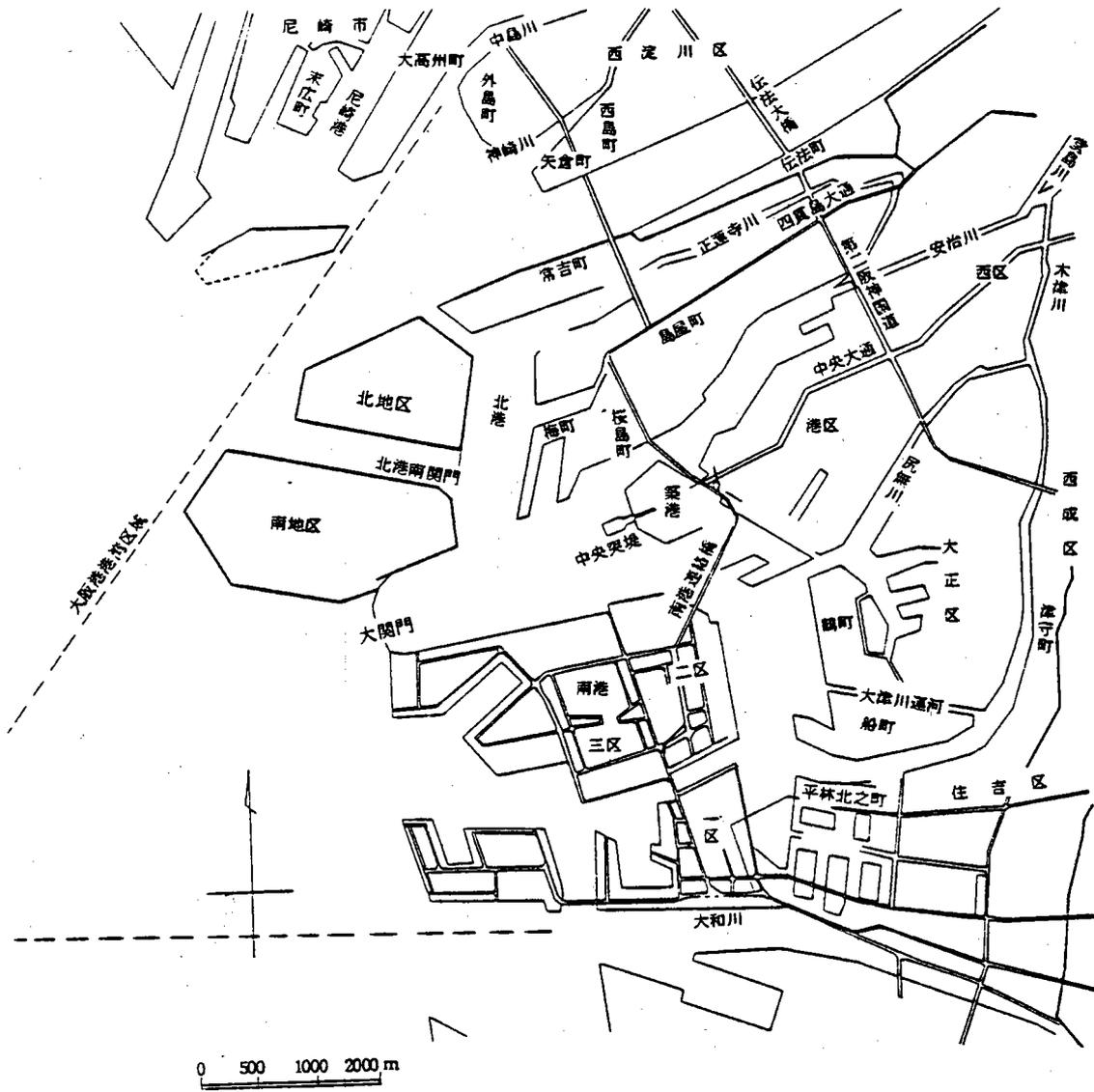
圖三、日本東京中央防波堤 施工照片



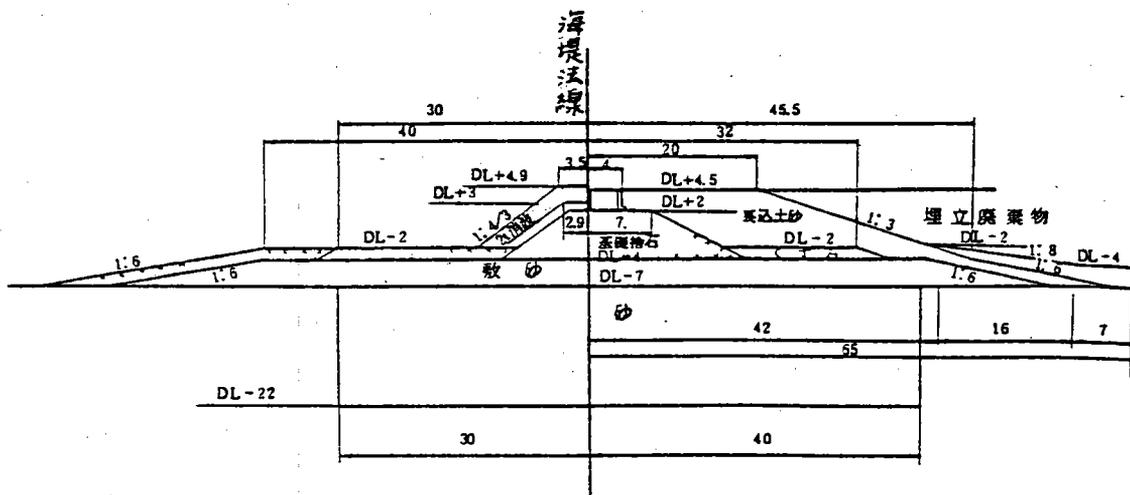
圖四、鋼管樁接縫詳圖



圖五、日本東京中央防波堤佈置透視圖



圖六、日本大阪北港處分場位置圖



圖七、日本大阪北港處分場海堤斷面圖

根據日本東京及大阪填海之方式，築堤位置係遠離陸地之內海當中，即類似於內海築一人工島，並以橋樑或海底隧道與人工島相連接，大阪地區更以駁船拖運垃圾，另設有接駁垃圾之駁船碼頭。根據日本地區之統計海堤造價高達每公尺二千萬日幣（相當於台幣四百萬元），故為節省工程投資費用填埋區內中隔堤設置較少，一般間距均達400～1,000公尺左右，但在水面上設有活動式攔除飄浮物之設備，垃圾運入之後即逕行倒入水域中。在初期時由於水域較大，故未見很明顯之污染狀況，但經過一段時間掩埋後水色漸變黑，此時則需採抽水處理後再排放至堤外，每日所處理之水量相當於投入之垃圾量，如此不斷繼續進行至全部填平至水面綫為止，水面綫上部份則鋪設不透水布及污水收集系統，再依次分層往上填埋垃圾，最後完成面並予覆土及設置排氣井。

日本在1960年代時期均以生垃圾直接填海，雖然海堤構築時已打鋼管樁加強阻水功能，但其防漏效果並非百分之百，故生垃圾分解後所產生之有機物及氮、磷等釋出於附近海域之中造成優養化現象，以致藻類大量繁殖，即所稱之紅潮污染事件。故於1970年代以後日本大都市地區均漸漸普遍採用焚化法處理垃圾，即不再填生垃圾而以焚化後灰燼填海，至於目前日本地區填海若採用生垃圾者，一般均限於水面綫上之範圍，此範圍底層均鋪有不透水布，污水收集及處理設施，故污染之現象已不再發生。日本填海之經驗可作為吾人借鏡，為防止填海過程中發生二次污染，應事先研究妥善防範措施。

三、填海地點考慮之條件及地點初步勘選

填海地點選擇時應考慮之條件⁽⁴⁾⁽⁵⁾至少包括如下：

1. 地形條件：

包括海底地形及坡度之變化，可由海圖或經由定期測量得知。

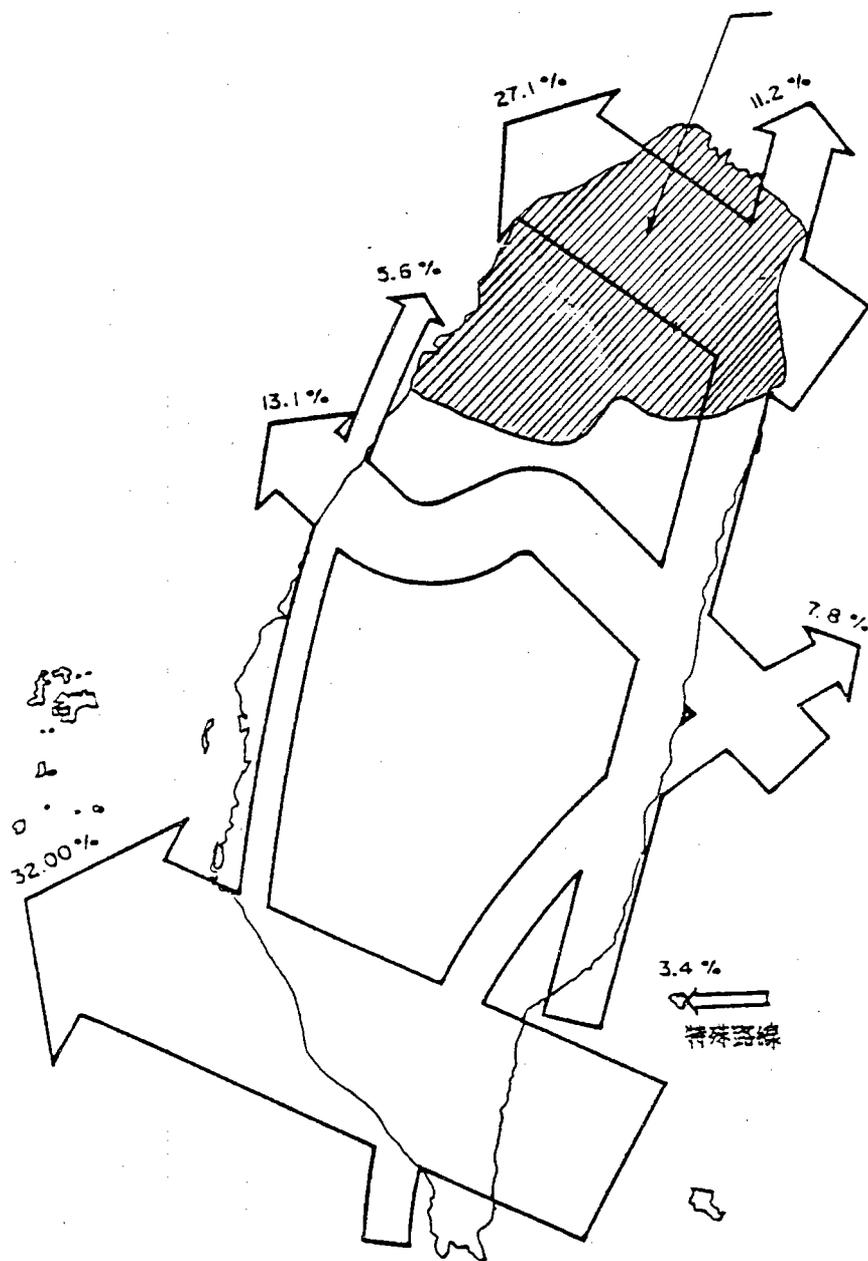
2. 地質條件：

一般海底之地層在河口附近均為沖積層，故多屬軟弱地層，必要時需進行基礎改良，以增加其承載力，確保堤防之安全。上述地質條件可經由鉆探及土壤分析實驗得知。

3. 海象條件：

包括風速、風向、降雨量、降雨日數、氣溫、日照量及颱風等。台灣北部、

地區之颱風可以圖八說明，一般氣象條件可以淡水及新竹兩測候所資料作為參考，詳見表二及表三。



圖八 台灣地區颱風路徑圖

表二．淡水地區氣象資料表

統計年數：民國32.~59.年

項	目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
風速 (m / sec)	平均風速	3.3	3.4	3.4	3.0	2.9	2.9	3.2	3.4	3.7	3.5	3.8	3.6
	風向	NE	NE	NE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	NE	NE	NE
降雨量 (mm)	平均	158.4	180.2	191.0	158.4	198.2	231.3	163.0	198.6	264.7	213.7	159.3	146.2
	最大	395.3	484.7	488.8	572.8	531.4	653.3	735.2	704.4	1142.7	1244.8	474.4	408.8
氣溫 (°C)	月平均	15.1	15.2	17.5	21.1	24.8	26.8	28.7	28.6	27.2	23.3	20.8	17.3
	最高	27.0	28.4	30.7	36.5	36.8	36.1	37.8	37.6	36.7	34.6	32.2	29.6
	最低	3.9	3.2	6.4	6.7	14.0	16.5	20.4	21.4	18.0	10.6	9.0	5.4
日照時數 (小時)		96.8	81.3	102.5	126.5	155.0	151.1	242.9	245.1	190.6	146.5	117.9	88.6

表三 新竹地區氣象資料表

項	目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年計
		風速	3.1	3.2	2.7	2.3	2.3	2.7	2.6	2.1	2.4	3.5	3.8	3.5
(m/sec)	平均	15.2	17.0	13.7	15.3	14.0	15.8	22.0	26.7	33.4	15.5	20.0	16.2	33.4
	最大	NNE	N	NW	WSW	W	SW	NEN	N	NNE	N	NE	NNE	NNE
最多風	風向	NE	NE	NE	NE	NE	SW	WSW	SW	NE	NE	NE	NE	NE
	平均	76.1	130.2	159.7	170.3	224.9	317.6	138.0	200.2	147.2	43.5	34.6	48.9	1691.2
(mm)	最大	113.1	175.2	117.2	153.7	158.9	242.7	200.2	430.8	363.7	101.1	43.8	58.6	430.0
	降雨日數(天)	12.1	14.6	15.9	13.4	13.4	13.3	10.1	10.5	9.5	6.4	7.5	10.6	137.2
氣溫	平均	14.8	14.9	17.2	20.9	24.7	26.7	20.2	28.2	26.8	23.4	20.6	16.9	21.9
	最高	30.3	29.8	33.8	33.7	34.1	35.4	37.5	38.7	38.2	34.8	32.8	31.1	38.7
	最低	-0.1	3.5	5.9	4.9	13.0	14.7	21.2	18.7	14.7	9.5	6.6	4.5	-0.1
日照時數(hr)	117.5	94.4	103.3	126.4	170.3	180.5	251.0	245.2	213.2	213.9	160.9	130.0	2016.6	
日照率(%)	34	30	30	33	41	44	60	61	58	60	49	40	45	

資料來源：中央氣象局新竹測候站

5. 水文條件：

包括附近河川流量，洪峯流量、輸砂量及地下水位等。

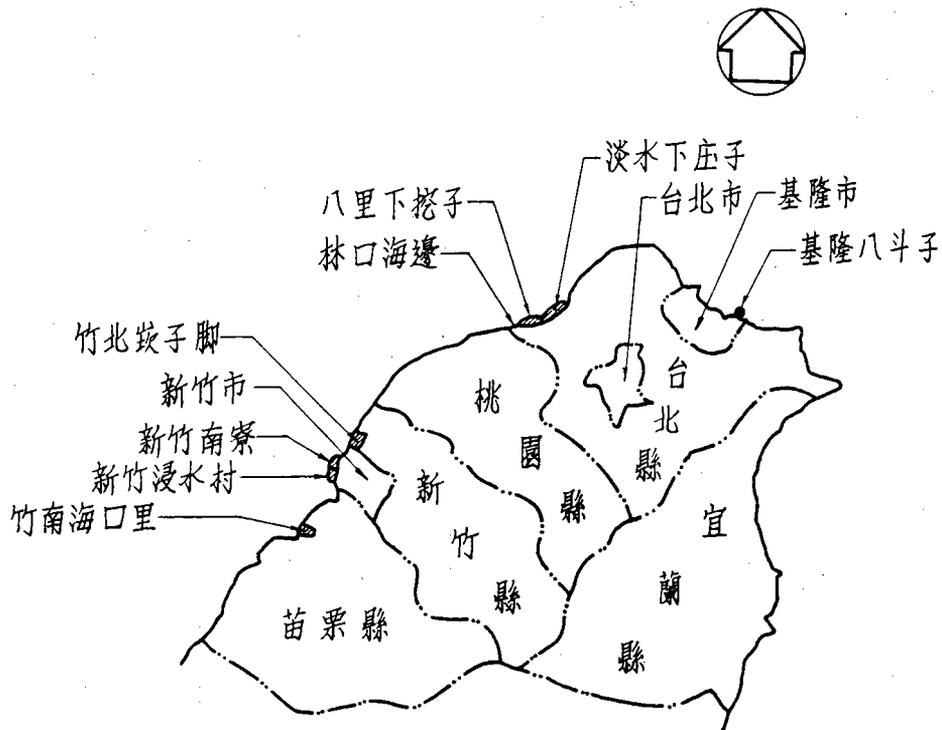
台灣北部地區東自宜蘭縣起經台北縣、接基隆市、再接萬里、金山、石門、三芝、淡水等地，兩岸自淡水以下至苗栗通霄爲止，海岸綫長達 300 公里左右，包括有 26 個鄉鎮市。根據台灣北部區域計畫及東北角風景特定區計畫。台灣東北角海岸幾乎全在特定區範圍之內，此地區被指定爲海岸特殊景觀區，區內多爲礁岩海岸坡度陡，直接受東北季風影響，冬季多雨且季風甚強勁，故不予考慮。至於基隆附近之深澳及八斗子均有港埠，平時吞吐量極大，其港口西側之深水澳亦進行深水港擴建之研究，故均不適用於考慮。再向西自萬里起沿北海至三芝爲止之沿岸均列爲濱海遊憩用途及綠帶，故亦不適合。西北海岸部份自淡水河口以南至苗栗通霄爲止均爲砂質海岸，經初步作沿綫之對外交通連絡、場址附近環境條件，及對使用掩埋場鄉市之距離條件後初步建議有如下表四之地點：⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁰⁰

表四 台灣北部地區填海適當地點勘選表

地點名稱	地點概況說明	使用地區
1. 基隆 八斗子	現有垃圾場外圍加築海堤予以擴大，以延長使用年限，由基隆市清潔管理所辦理中。	基隆市
2. 淡水 下庄子	現有垃圾場擴大及改善，屬於岸邊砂灘地區，過去台北市環保局計畫利用此一地點於砂灘上興建海堤，本場地嚴格來講並不屬於填海，而應屬海岸邊掩埋。	台北市 台北縣
3. 八里 下挖子 海邊	本地點爲計畫淡水商港用地，位置大約在淡水河口左岸自挖子尾南至訊塘村附近，爲一平直侵蝕性砂岸，八里污水廠亦在附近，如合併興建海堤可解決污水廠污泥處置之問題。	台北市 台北縣
4. 林口 海邊	自紅水仙溪以南至林口發電場附近海域，爲一平直侵蝕性砂岸。	台北市 台北縣
5. 觀音草 螺海邊	自老街溪河口至富林溪河口之海域。	桃園縣

6. 竹北 茨子脚	為鳳山溪及頭前溪會合口之砂洲，該二河川之整治基本計畫亦擬闢為海埔新生地。	新竹縣
7. 新竹 南寮	為目前新竹市垃圾場，由於未築海堤，垃圾有被海水冲走之虞，待築堤予以封閉改善。	新竹市
8. 新竹 浸水村	為客雅溪左岸之沙洲，與新竹海埔地遙遙相對，目前淤積現象很明顯，計畫堤綫均在平均潮位綫以上。	新竹市
9. 竹南 海口里	位中港溪河口附近，依據中港溪整治基本計畫，新堤防與舊堤防間有一新生地，由竹南鎮公所向水利局申請撥用，目前已開始使用。	苗栗縣

以上地點僅係一非常粗略之踏勘後結果，由於填海造地對於附近相關海域或沿岸影響，常常有賴於更詳細之場址資料及水工模型試驗結果才能進一步研判。並據以研究堤深、掩埋容積及每單位容積工程造價之關係，以求最經濟之投資，而獲得最大之效益。



圖九 台灣北部地區填海勘選地點位置圖

四、垃圾填海相關問題之探討

垃圾填海有關之問題相當廣泛，就本社辦理規劃中所遇見及研究之問題提出初步見解，供請大家參考。

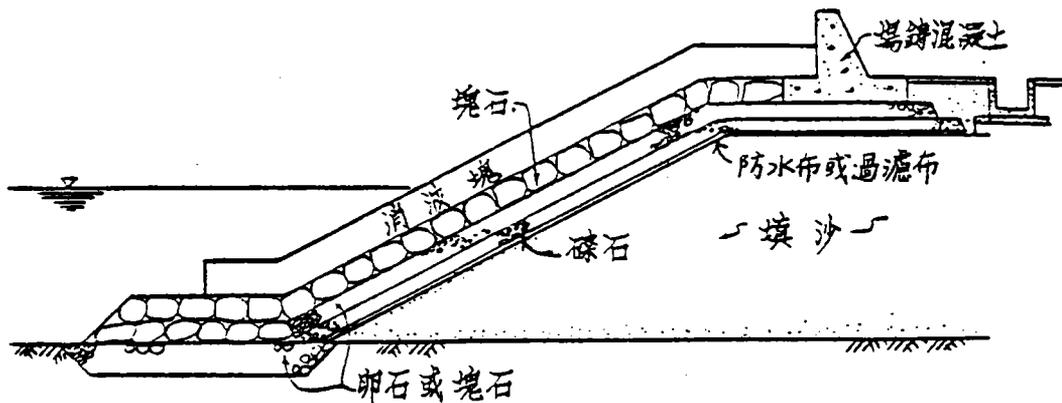
1. 堤型選擇之探討：

海堤之型式根據目前國內及國外之使用實例⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾，可按照其結構及邊坡坡度分為斜坡堤、直立堤及混合堤三種，詳見表五及圖十。

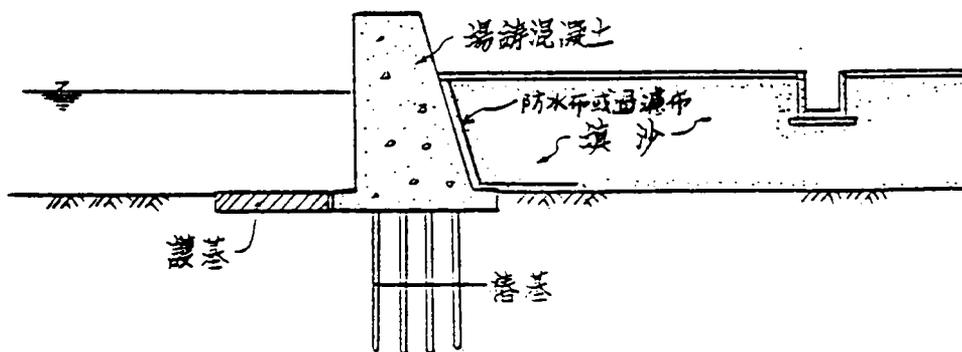
表五 海堤型式

型式	結構	邊坡坡度
斜坡堤	漿砌式、砌混凝土塊式、混凝土覆蓋式	1:1 以上
直立堤	砌石式、單塊式、吊置方塊式、牆壁式	1:0.3 ~ 1:1
混合堤	上下斜坡變化為上列兩項併用。	

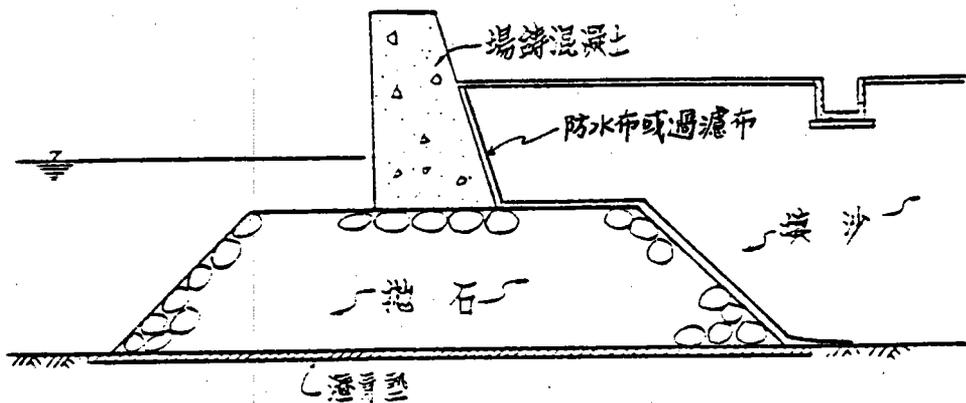
各種堤型之優劣比較如表六所示。



A. 斜坡堤



B. 直立堤



C. 混合堤

表六 海堤型式優劣比較表

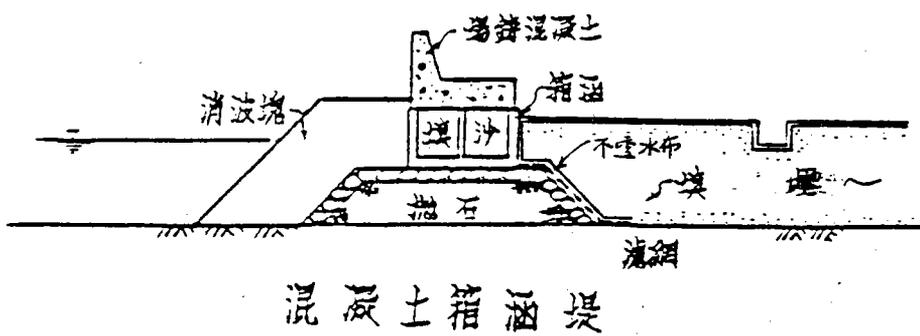
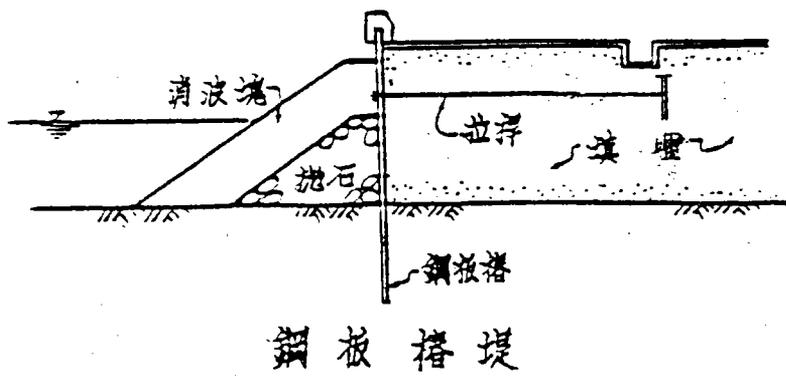
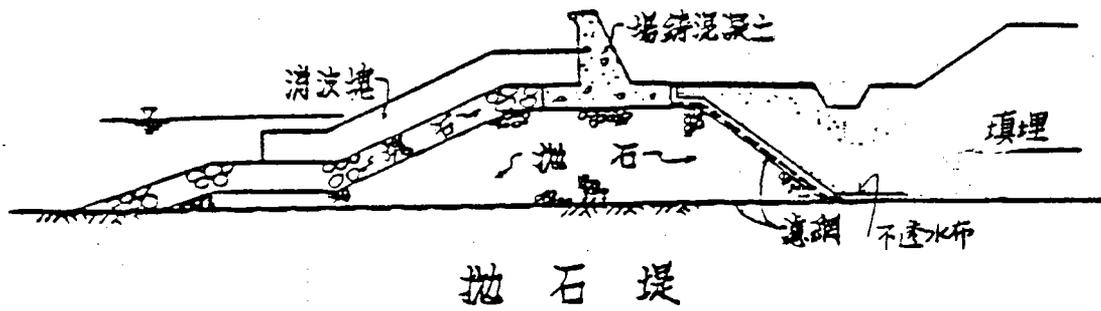
	斜 坡 堤	直 立 堤	混 合 堤
配置上	反射波及集中波少， 用地比直立堤大。	反射波大，順法線發 生集中波，堤身所佔 用地少。	具斜坡堤及直立堤之 優劣點。
設計上	波壓可漸減，但波浪 易上升。 地基反力小，不需太 良好之地質。冲刷力 小，適用於漂砂移動 之海灘。	易受波壓，淺水地區 有冲刷作用。 堤基反力大需良好之 地質。 背後土壓力大。	斜坡堤及直立堤適當 併用，可得兩者之優 點。 用於水深較大之處。
材料上	堤身需要大量砂石材 料。	堤身所需砂石比斜坡 堤少。	堤身所需材料較斜坡 堤少，比直立堤多。
施工上	就地澆鑄混凝土在潮 汐漲落線以上，施工 不受潮汐漲落之影響 。	就地澆鑄混凝土大部 在潮汐漲落線以下， 施工時間受限制。	混凝土澆鑄施工時間 受限制，但不若直立 堤受影響之大。

由以上之比較表及圖之說明可知各種型式之海堤均有其優點，故選擇上需視當地之條件而定。西北海岸海底坡度平緩，且屬侵蝕性海岸，灘線受風浪之影響逐年變遷，尤其颱風前後更為顯著，為避免築堤後造成嚴重冲刷以採用斜坡式海堤為佳，混合式海堤用於水深較大之處，須視海堤之堤趾深度而決定。

斜坡式海堤依其使用之材料可分為拋石堤、鋼板樁堤、混凝土箱涵堤等，如圖十一。其優劣比較如表七。至於應採用何種堤型最為經濟，須依當地自然條件、材料、施工及工程費等條件，進一步研究。依據本社之研究、北部地區西北海岸填埋，海堤以採用拋石堤或箱涵堤較適合，但兩種堤型受築堤材料左右，須再進一步調查決定。

表七 斜坡堤優劣比較表

	拋石堤	鋼板樁堤	箱涵堤
料源上	天然卵石取自河床，塊石由山中開採。	鋼板樁須從國外採購。	可代替石料之不足。製造所需之混凝土容易獲得。
施工上	不受潮水影響，堤體施築時可行駛施工車輛。	施工容易且快速，但需先築施工道路。或以海上船機施工。	須有較大預鑄場，及吊放機械並需先築施工道路或以海上船機施工。
材料品質控制上	品質容易控制。	品質容易控制。	需要嚴格控制。
防污及防砂效果上	較差，需加鋪不透水布或濾網。	水密性高，可防污及防漏砂。	較差，需加鋪不透水布或濾網。
工程費用上	工程費最便宜。	最貴。	較拋石堤貴，但比鋼板樁便宜。



圖十一 斜坡堤之形式

2. 海堤堤線規劃：

(1) 經濟堤線位置選擇：

海堤堤線位置受海底坡度、計畫垃圾容量、工程費、施工難易度等因素之影響，大抵在海底坡度較陡之海岸其單位容積之海堤造價比海岸坡度平緩之處較高，在同一海岸，堤線之位置及其垂直及平行海岸之長度與垃圾容量及工程費均有直間之關係，在選擇堤線位置及長度時，須同時進行下列兩項工作：

① 水深與容積之關係計算。

② 水深與海堤工程費之關係計算。

依據上兩項結果，再求出堤趾水深，垂直及平行海岸堤長與單位容積海堤工程費之關係表，從中再找出計畫容量之單位成本。

若計畫容量已定，則可變化海堤垂直及平行海岸線之長度，分別計算海堤工程費從中找出經濟之堤線佈置。

(2) 堤線佈置原則：

海堤堤線如上述所示受到計畫容量之影響，因此欲以自然條件之地形、波浪、海流及海灘沖淤等因素限制堤線之位置，實際上有其困難，但大體而言，佈置堤線應考慮下列幾點：

① 地盤良好，灘地穩定及波浪不集中之處。

② 堤線佈置應力求平順，不宜有折曲現象，否則易招致沖蝕損壞。

③ 施工機具之能量及施工時間須能配合季節一氣呵成。

④ 工程費需經濟，因堤體材料數量與堤高成正比，故堤線應選在坡度變化較緩之處，以避免填埋容積增加有限，而海堤造價驟增之不當佈置。

3. 堤頂高程之決定之探討。

海堤堤頂之高程一般根據經驗公式推算於颱風來臨時低氣壓狀態下，浪的遡升狀況而定。但垃圾處理功能之海堤應可容許少量之越波現象，以降低工程費用，為減少越波現象及垃圾之流失可考慮採用下列措施：

(1) 增加胸牆高度。

(2) 降低波浪遡升高度，採用具有消波之堤型及加覆消波塊。

(3) 排除越波水量：即是頂內側設有道路及截流溝以有效排除越波水量。

(4)設置防塵網：即以鐵絲網攔除防止垃圾流失。

4. 施工及操作方法之探討：

根據過去在台灣北部及中部若干港灣工程之經驗，本地區海堤施工方法可採用端進法，即由陸地側兩端向外延伸，到達預定地點後彎繞，最後開口再予圍堵，此種方式在封口時需有特殊機具設備及對氣候條件之掌握，以免功虧一匱。由於台灣地區西海岸平直，坡度平緩，故海堤深度一般不超過 10 公尺以上，採用端進法可節省工程費用，同時圍堤內之水域於操作時並不考慮將來完全排乾，而僅較一般低潮位略低限度之排水，如此可使污水不致滲出，可有效防止二次污染，並可考慮灰燼與一般建築廢土或其它土石料混合掩埋之方式，以增加填地強度。

5. 二次污染防治問題探討：

二次污染防治除需有妥善工程設施，良好營運管理之外，所填埋物質之性質應為最重要關鍵，由於考慮工程可行性及經濟性，目前所建議之施工及操作方法，均不將圍堤範圍內之海水完全排乾，而僅是降低圍堤內水位以減少滲出之發生，並且維持一邊填埋一邊抽取污水處理之後排出堤外之方式，故填埋物將直接浸泡於海水之中。如填埋物中含有大量有機物將迅速產生分解或腐敗，即為造成二次污染物之來源。

根據過去福德坑垃圾場滲出污水初期 BOD 高達 $30,000 \text{ mg} / \ell$ ，氮及磷之含量亦均超過標準，污染性非常嚴重，且極不易處理，若先經焚化後之灰燼溶出水之 BOD 僅在 $50 \sim 200 \text{ mg} / \ell$ 之間，故污染濃度大幅降低，且極不易處理，因此若能以焚化後灰燼再行填海則二次污染之發生機會將大幅降低，同時根據國外經驗對於有害或事業廢棄物之進場均予設限，並考慮分區掩埋管理、監測，對此項工作應事先做一周詳之規劃。

6. 填埋高度、景觀及操作環境之探討：

根據日本東京、大阪填海均係以人工島方式進行，遠離陸地，故其在超過水面綫以上部份，均儘量設法繼續往上填高，成為陸上掩埋 (Hillfill)，而本地區所勘選之地點均位於海邊，故整體景觀之考慮上並不適合做太高之填埋，以免造成景觀不協調之問題。另外由於本地區海域深度不太大，海堤造價並不非常高昂，故為維持操作環境建議不妨考慮多設中隔堤，一方面可將污染

點（工作面）縮至最小，另一方面可達分類掩埋之效果，以及新生地提早利用之效果。此外為維護掩埋場之景觀建議加強綠化及綠地以達到緩衝之效果，使對於附近負面不利之影響減至最小。

7.開發及執行方式之探討：

根據日本人大阪填海之經驗，依據昭和56年所立之廣域臨海整備センター法；成立了大阪灣廣域臨海整備センター，並由相關之市町村長擔任此一組織之理事、監事等共同推動此一計畫，在整備法共分八章，詳細規定了總則、設立、管理、業務、財務及會計、解散及清算、監督、罰則等章節，故對於推動此種計畫有關之事宜均已作原則性之規定。據其在昭和58年所成立之組織（管理委員會）設有理事長、理事、監事、及參事，其下並設有總務、財務、計畫、調查等四課，以推動此一工作；至於港灣有關工程技術及開發則由大阪港、堺泉北港、神戶港及尼崎西宮蘆港等四個港灣單位負責。

考慮我國目前國家體制及國內基本資料、技術人才之因素等建議未來開發及執行方式可參考如下：

(1)初步評估調查階段：

由開發機構委託顧問公司辦理評估及詳細調查，根據國外填海之經驗至少應包括如下項目：

- ①海底地形變化調查。
- ②海域地質鉆探及地質研判。
- ③氣象資料收集及整理分析。
- ④海象調查包括海流流向、流速之潮位觀測。
- ⑤環境評估（環境說明）。

(2)規劃及研究階段。

由開發機構委託顧問公司辦理規畫及研究，在此一階段所需進行工作如下

- ①水工模型試驗（含漂砂、沖淤影響、越波及消波研究）。
- ②材料來源及市場價格調查。
- ③環境影響評估。（含監測計畫及減輕不利影響之對策）。
- ④工程可行性及最佳方案之研究。

(3)設計及施工、監督階段。

由開發機構委託顧問公司，根據規劃研究之結果再進一步進行詳細之設計後，由開發機構發包承包商施工，並由顧問公司負責施工之監督，以確保工程品質。

(4)執行操作及使用階段。

填海之使用及二次污染防治由環保單位之執行機構負責或者成立一管理委員會。使用完畢之後的場址最終利用計畫配合原先計畫構想辦理。

由於填海涉及甚多港灣工程，故在日本均由港灣單位辦理，並配合新港開闢或其它新生地利用計畫建議將來此項工作由港灣或水利主管單位負責技術方面工作，環保單位負責操作及使用，或者仿照日本成立一獨立之組織來辦理有關工作。

五、垃圾填海費用之研究

垃圾填海之費用可以分為兩部份，一為開發之投資費用，另一為操作維護費用。根據本社辦理台灣地區垃圾綜合處理規劃之經驗，垃圾掩埋場之開發費用與地點之處理量有極密切之關係，圖十二為一山谷地區掩埋場之單位建造成本與容量之關係，其單位開發成本約在 100 ~ 300 元/公噸之間，本社又根據所收集之氣象、海象資料，對於上述填海地點所需開發之經費作一初步概估，其費用一般約在 200 ~ 400 元/公噸之間，詳見圖十三，故由此可知填海之費用一般均較陸上掩埋場為高，（目前台北市福德坑掩埋場處理每公噸垃圾之操作維護費約 150 元左右，在國外日本地區之填海操作費用東京為 760 元/公噸，橫濱為 690 元/公噸，川崎市為 180 元/公噸）而且圖中之淡水下庄子及新竹浸水村及竹北炭子脚均係位於沙洲或沙灘上（亦即堤址在平均潮位附近）其造價屬於填海費用中較低者，若位置深入深水地區則其造價將為更高，將來需詳細調查之後再進一步估計更正確之開發費用。

六、結論與建議

(一)垃圾填海本身技術上已屬可行，但因目前基本資料尚十分欠缺，故需進行若干調查及試驗後，才能更詳細規劃有關之設施及正確估算開發所需經費。

(二) 垃圾填海為有效控污染及考慮經濟及景觀因素，建議仍以焚化後之灰燼，再行填海較為適宜。

(三) 填海工程所涉及工程及技術層次較為複雜，建議成立專責機構辦理由港務局辦理開發，供環保單位使用，以便有效控制工程品質及防治污染。

(四) 填海工程屬大型工程，最好能與港灣開闢或機場開闢工作同時配合開發，以便填埋完了之後新生地之利用，能符合設計所考慮之因素，可收事半功倍之效。

參考文獻

1. 黃禎祥「台灣北部地區垃圾填海之研究」第一屆廢棄物處理技術研討會，台北市環境保護局，中國土木水利工程學會，台灣大學環境工程研究所。
2. 廢棄物の處理、處分技術，環境產業新聞社，1980年8月版。
3. "Design & Operation of Future Landfill in Hongkong" Waste Management & Research (1985) 3, 325-338 by M.P. Pugh P.E. Rushbrook & A. Parker.
4. 廢棄物處理設施構造指針解說，廢棄物最終處分場指針篇，社團法人全國都市清掃會議，昭和53年10月版。
5. 埋立計畫の實施と環境影響調査，株式會社フシテクノシステム昭和51年12月。
6. 「彰化濱海工業區開發工程計畫」一專題研究(1)D堤防與護岸，(2)E造地，財團法人中興工程顧問社，民國68年6月。
7. 「基隆市垃圾多元化處理示範計畫書」，基隆市政府，民國74年12月。
8. 台北都會區及桃園中壢地區區域性垃圾綜合處理計畫第一階段工作規畫報告書，財團法人中興工程顧問社民國73年1月。
9. 台灣地區區域性垃圾綜合處理計畫第二階段工作，基隆、宜蘭、新竹、苗栗地區區域性垃圾綜合處理計畫規畫報告書，財團法人中興工程顧問社，民國73年12月。
10. 台灣地區區域性垃圾綜合處理計畫第三階段工作，台北都會區及桃園中壢地區區域性垃圾綜合處理中長程規畫工作計畫規畫報告書，財團法人中興工程顧問社民國75年6月。

廢棄物填海與環境污染之研究

張祖恩*

摘 要

台灣地區廢棄物排出量日益增多，因而最終處置場用地之確保，是妥善處理廢棄物之必要條件。但因地狹人稠，都市近郊已難覓得適當用地，向海域爭取掩埋處置用地，以實施廢棄物填海造地之可行性亟待研究。本文旨在探討廢棄物填海計畫可能引起之環境污染及防治對策，以供參考。

一、前 言

廢棄物是人類日常生活，都市活動與各種產業活動無法避免的產物，其處理是從家庭或事業場所排出開始，經收集、清運後，進行中間處理；中間處理後之殘渣再作最終處置。在處理過程中，原則上儘可能將其中之有價物質回收再利用，難以再利用者其可燃物質或有機物質可藉焚化、熱分解、堆肥、厭氧發酵…等化學或生化轉換技術，將其減量化並回收熱能、燃料或有機肥料等；至於不能經濟且有效利用者或處理後之殘渣，則必須利用掩埋處置等將其還置於自然界。因此，有計畫地確保最終處置所需用地，是妥當處理廢棄物之必要條件。

近年台灣地區隨著工商業的發達，加上人口擁向都市，廢棄物排出量日益增加且性質亦日趨複雜。六十九年度台灣地區垃圾清運量 8,736 公噸/日，至七十四年度增加至 13,233 公噸/日，短短五年之內，清運量增加 52%⁽¹⁾。此外，事業廢棄物之排出量，依調查推估七十四年度之總排出量已達三千萬公噸

*國立成功大學環境工程研究所副教授

／年，約為一般垃圾量的六倍，且其增加較垃圾為速⁽²⁾。如此量多質雜的廢棄物，因大多未作妥善處理，已造成嚴重環境污染問題，廢棄物處理成為台灣地區當今環境保護工作重點之一。

台灣地區之廢棄物處理，目前以衛生掩埋法為主，其用地主要為河川邊與低窪地。然因地狹人稠，有限的土地已高度開發利用，寸土是金的都市近郊已難覓得廢棄物掩埋用地，為了因應日益增多的最終處置量，用地之確保已成各地方執行單位之重要課題。尤其是西部之人口產業集中地區，已不得不研究向海域爭取掩埋處置用地；亦即實施廢棄物填海之可行性。

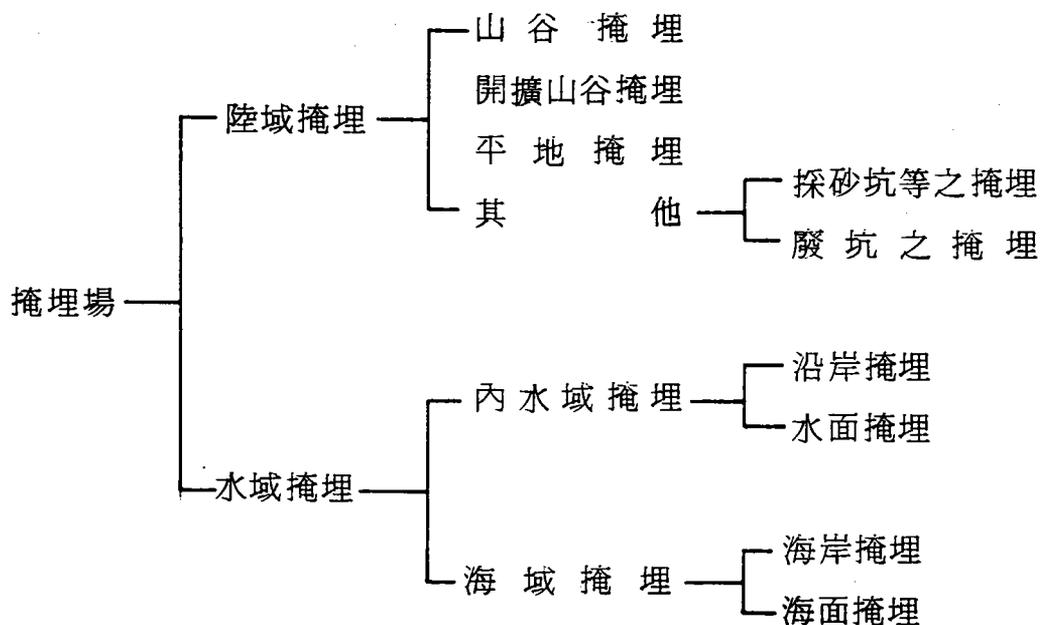
廢棄物填海係以工程技術與海面爭取空間，雖可闢地掩埋廢棄物，且可開發新生地，然其計畫規模大且工程艱巨，其場址區位選擇，工程規劃施工或掩埋管理稍有不慎，即有造成空氣污染、水污染、噪音、振動、惡臭、病媒、景觀破壞…等二次公害之虞，對周圍自然環境之影響極為深遠。本文就廢棄物最終處置場之種類、功能與基本設施簡作介紹，並探討廢棄物填海計畫之環境影響與防治對策，提供參考。

二、最終處置場之種類、功能與基本設施

2-1 最終處置場之種類

最終處置是廢棄物處理系統之終點站，可分為自然還原與回收再生。自然還原法包括陸域處置（衛生掩埋、露天傾棄）與水域處置（衛生掩埋、水域投棄）兩種；露天傾棄與海洋投棄會造成嚴重二次公害，不宜採用，故以衛生掩埋法為主。

衛生掩埋依地形特徵來分類，可分為陸域掩埋及水域掩埋兩種，其細分如圖一 1⁽³⁾。此外，依掩埋廢棄物之種類，可將廢棄物最終處置場分類成下列三種型態⁽⁴⁾。



圖一 1 最終處置場之種類（依地形區分）

1. 遮斷型處理場—以“須完全與吾人的生活環境隔離之廢棄物”為對象；將有害的焚化殘渣、煙塵、污泥，礦渣等廢棄物予以掩埋處置之場所。
2. 管理型處置場—以“如充分地管理則不致污染環境之廢棄物”為對象；將廢油（限於焦油瀝青類）、廢紙、木屑、纖維屑、動植物性殘渣、動物糞尿、動物屍體及無害的焚化殘渣、煙塵、污泥、礦渣等廢棄物予以掩埋處置之場所。
3. 安定型處置場—以“吾人熟悉且和土壤幾乎一樣不致造成任何環境污染

之廢棄物”為對象；將廢塑膠類、橡膠屑、金屬屑、玻璃碎片及陶瓷破片、建築廢材等廢棄物予以掩埋處置之場所。

2—2 功能

1. 衛生掩埋之定義

根據美國土木工程師學會所述，“衛生掩埋是指一種不產生公害，或對公眾健康及安全不造成危害的廢棄物處置法，此法使用工程原理將廢棄物局限於最小區域內，於每日廢棄物傾倒處理完畢之後，在其上覆一層土壤，必要時則增加覆土之次數”。由上述定義可知，衛生掩埋作業基本上包括：

- ① 壓實—使廢棄物體積減至最小。
- ② 局限—將廢棄物局限於一最小區域內，有計畫地堆埋垃圾。
- ③ 覆土—防止廢棄物飛散流失、病媒孳生，控制地面水之入滲與氣體之移動，防火，提供車輛通路，促進廢棄物之分解，配合最終土地利用。

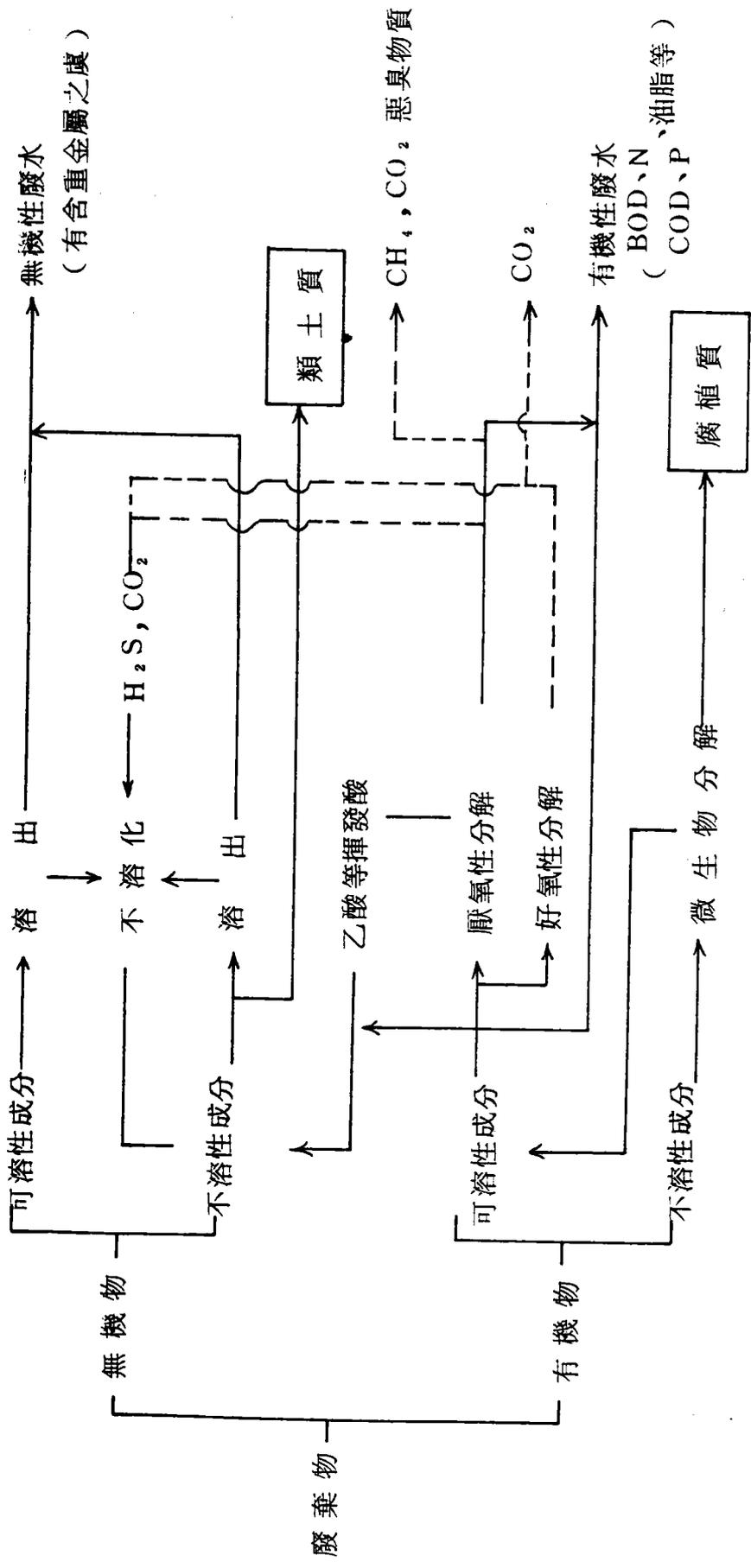
2. 穩定化原理⁽⁵⁾

廢棄物經適當的掩埋之後，因其本身之特性及與土壤微生物之物理及生化反應，轉化為固體（類土質，腐植質），液體（有機性廢水，無機性廢水）及氣體（ CH_4 ， CO_2 ， H_2S ，惡臭物質，…）等產物，其體積逐漸減少而達成物理上的穩定及生化上的安定，而填埋完成的新生地則可供利用。廢棄物之成分與掩埋場內之變化，如圖—2。

衛生掩埋場內之基本生化反應，因掩埋構造及施工方法之不同，依掩埋層內氧氣之有無，可分為厭氧性與好氧性兩種。一般之垃圾衛生掩埋場皆屬於厭氧性；傳統的厭氧性衛生掩埋法分解速率緩慢，常需10—20年以上，才能達到穩定程度，其反應可概分成下述三個階段。

① 好氧階段（掩埋後數十日內）

在掩埋初期，土壤微生物中之好氧性細菌，利用掩埋層中之氧氣，在適當的含水情況下，將廢棄物中部份之有機性物質分解成水及二氧化碳等穩定性物質，直至氧氣耗盡為止。



圖一 2 廢棄物成分與掩埋場內之變化

廢棄物中有機物 + 氧 $\xrightarrow[\text{細菌}]{\text{好氧性}}$ 穩定細胞質 + 二氧化碳 + 水 + 氫

②厭氧階段（掩埋後數十日內至五百日內）

在此階段，於缺乏或無氧之環境條件下，厭氧性微生物群中之酸生成菌，將廢棄物中之脂肪、蛋白質、碳水化合物等轉化成有機酸及其他中間生成物，而甲烷生成菌則將中間生成物再分解成甲烷（沼氣），二氧化碳及水等最終產物。

$$\begin{array}{ccccccc} & \text{酸生成菌} & \text{有機酸與其他} & & \text{甲烷生成菌} & & \text{甲烷、二氧化碳} \\ \text{廢棄物中有機物} & \longrightarrow & \text{中間生成物、} & \longrightarrow & \text{、水、氫、硫化} & & \\ & & \text{穩定細胞質} & & \text{氫、穩定細胞質} & & \end{array}$$

③穩定階段（掩埋五百日後）

掩埋數百日內，廢棄物中較易分解之有機性物質逐漸被分解而趨穩定狀態，正常狀況下，在最初二年內氣體產量達尖峰，以後逐漸降低，其持續產氣期間達10—20年或更長。

3. 掩埋場之功能

由上述之定義及廢棄物在掩埋場內之變化可知，衛生掩埋場須能將廢棄物妥善地貯存，且將其安定化、安全化及減量化。因此，掩埋場應具備下列功能(4)(5)：

- ①貯存：具有適當的容量貯存廢棄物。
- ②阻斷：具有適當的環境條件或設置必要的設施，將廢棄物及其產生之滲出水，廢氣等與周圍之環境安全地隔絕，避免污染環境。
- ③處理：設置適當的掩埋構造與設備，以有效且安全、衛生地使廢棄物趨於穩定。
- ④土地新生：藉掩埋低窪地、海埔地、荒地或貧脊之農林地等，增加可利用之土地。

2—3 基本設施 ^{(3)~(7)}

為期能發揮上述功能，廢棄物掩埋場必須具備下述要項：

1. 貯存結構—長期且安定的貯存廢棄物，防止廢棄物崩塌，流失。

- 2.阻斷結構—阻斷掩埋場內外之水流；包括地面、地下水及污水。
- 3.壓實—延長場地使用年限，防止不均勻沉陷。
- 4.覆土—防止病媒孳生、火災、廢棄物飛散、控制滲出水量、惡臭，並促進有機物之分解（海域掩埋一般不作中間覆土，僅作最後覆土）。
- 5.排水設施—排除雨水，截留場外地表水，越波海水，減少滲出水量（海域掩埋場，於掩埋期間不設雨水排水設備）。此外，場內排水可防止覆土材料之沖刷、流失。
- 6.滲出水收集處理—防止滲出水、浸泡水等污染水體。
- 7.廢氣收集處理—防止火災、惡臭、爆炸等。
- 8.環境監測—觀測周圍水體水質，環境衛生等之變化，防止二次公害之發生。
- 9.其他—防止廢棄物飛散（圍籬），病媒（消毒），火災（消防）及廢棄物前處理，搬運、掩埋作業等設備，道路及其他管理設施。

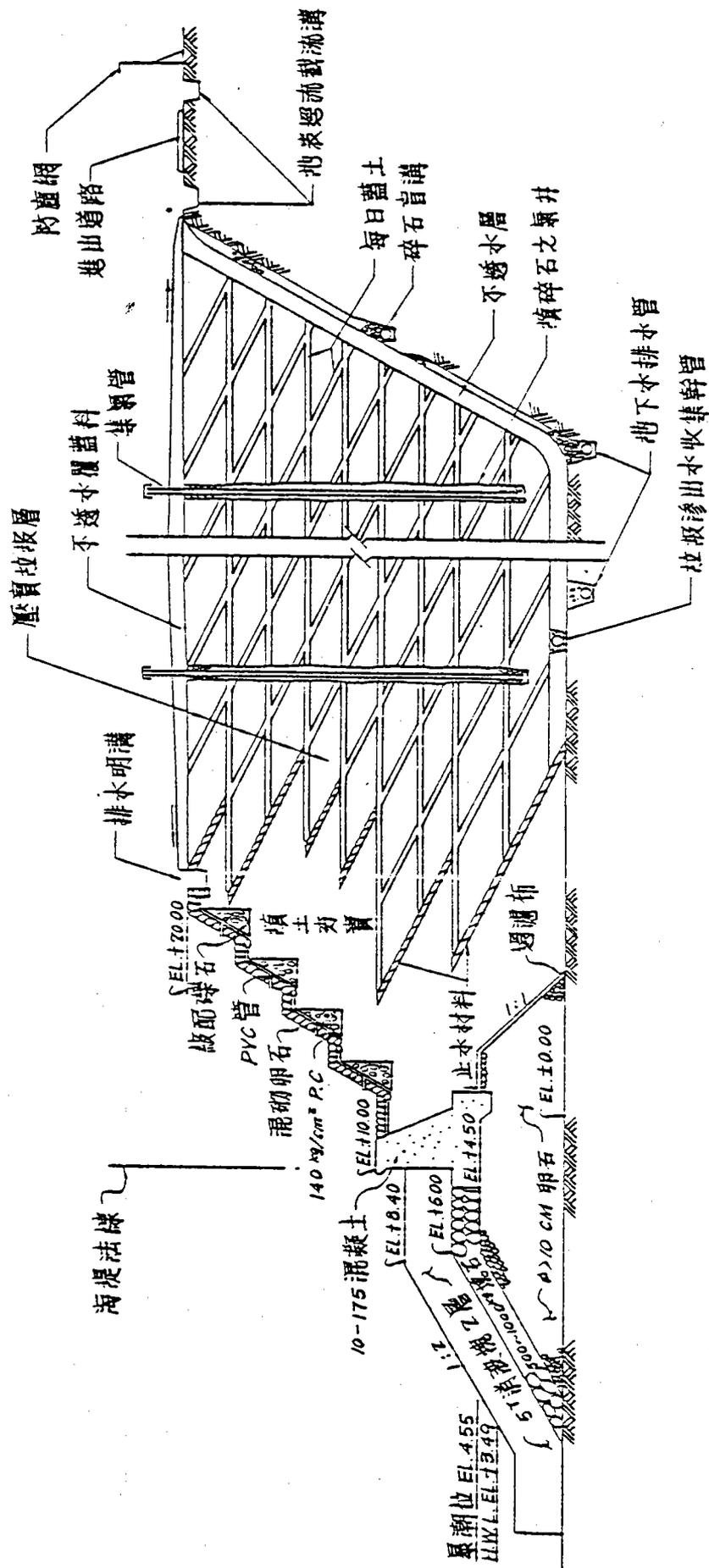
三、廢棄物填海與環境污染

3—1 海域掩埋工程⁽³⁾，⁽⁷⁾

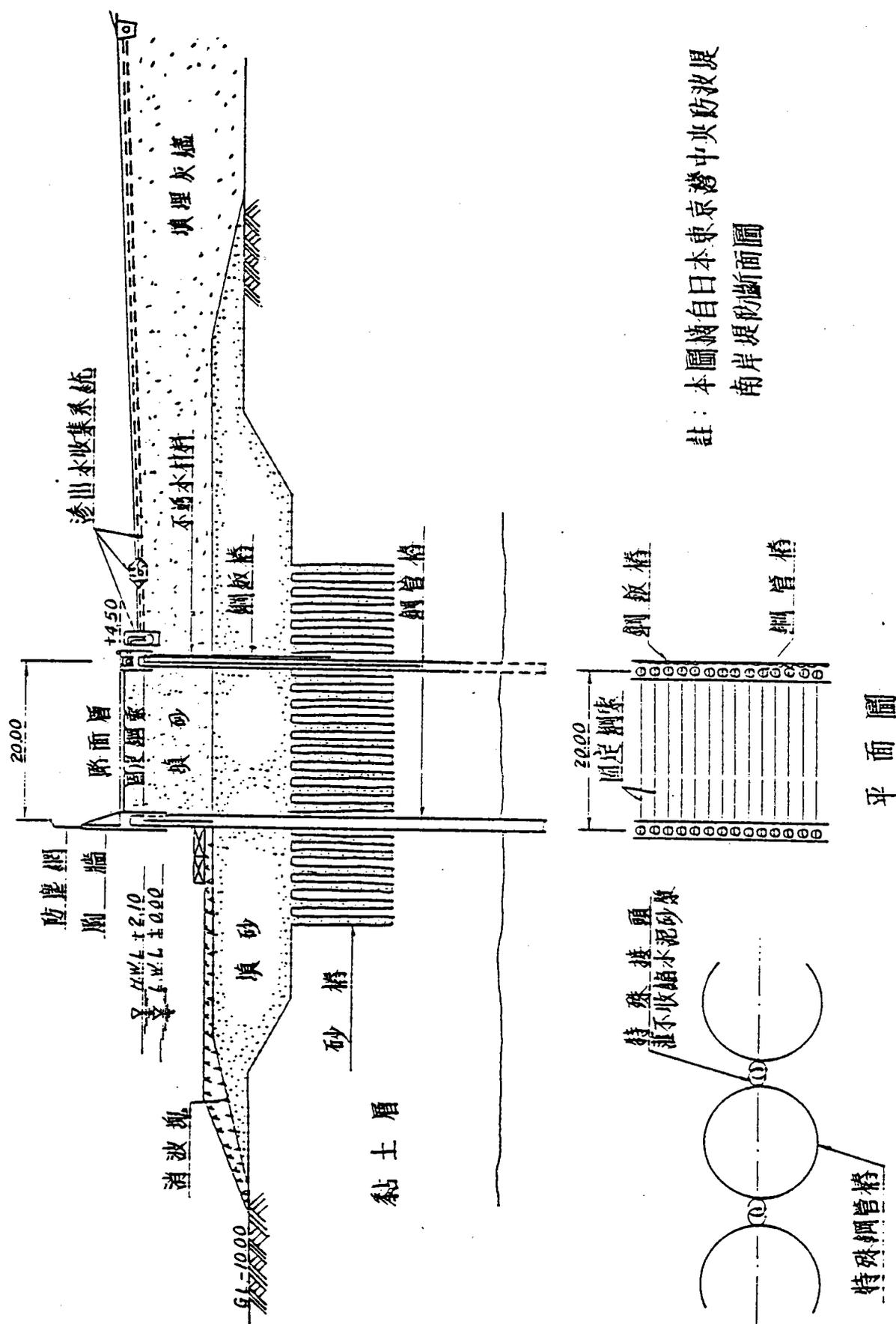
如圖—1 所示，廢棄物水域掩埋可分為沿岸掩埋與水面掩埋；就填海而言，可分為兩種型式：

①海岸掩埋—利用海岸或河口陸地，構築適當的護堤將海水阻絕，再填埋廢棄物，此與一般海埔新生地之圍築相同，其工程概要如圖—3⁽⁸⁾。

②海面掩埋—係在港灣中或近海地區以護堤圍堰，填埋廢棄物形成新生地，與海岸間則以跨海大橋、海底隧道或船舶作為往來交通工具，其工程概要如圖—4⁽³⁾，⁽⁸⁾



圖一 3 海岸掩埋之工程概要



註：本圖轉自日本東京灣中央防波堤南岸堤防斷面圖

圖一4 海面掩埋之工程概要

由於護堤工程係在海中施工，受到之限制較多，若水深過深則不論以何種型式填埋，所需費用皆甚為龐大；計畫實施海域填埋之地點，水深以10公尺範圍內為宜。此外，因海堤造價高，廢棄物海域衛生掩埋難以單獨進行，須與其他開發計畫配合共同進行。例如：日本東京灣、大阪灣等之填海計畫，雖水深皆在十公尺範圍內，但其工程費仍較陸地衛生掩埋高出甚多，是以日本大都配合港口興建、機場開闢等開發計畫，共同進行填海造地。

行政院經建會住都處依經濟及實質環境分析結果⁽⁹⁾，建議台灣地區之廢棄物填海計畫，現階段以海岸衛生掩埋法為主，海面掩埋則宜從長計議。

3-2 廢棄物填海及環境影響

實施廢棄物填海計畫時，不同階段之環境影響因素與環境參數如表一1所示⁽¹⁰⁾。

表一1 水域掩埋處置之環境影響因素與環境參數

階段	環境參數		空氣污染	水污染	噪音	振動	惡臭	地形·地質	動物·植物	景觀	遊憩	
	環境影響因素	環境參數										
建設中	建設器材之輸送		○		○	○						
	護岸之建造·土石之採取		○	○	○	○			○			
	土石之水中投置			○					○			
	浚渫			○				○	○			
	打樁					○	○					
	進出道路									○	○	
	建築物(管理中心, 棧橋等)									○		
掩埋中	用地(水面減少·水際線變更)			○				○	○	○	○	
	廢棄物之運入		○		○	○	○					
	掩埋作業		○		○	○						
	廢棄物之存解	在與分解	水溶性		○							
			揮發性					○				
腐敗性				○			○					
飄浮性·飛散性			○	○						○	○	
掩埋後	廢棄物之分解	餌食性							○	○		
		水溶性		○								
		揮發性					○					
		腐敗性		○		○						

註：○表示有影響。

於構築護堤之時，浚渫、地盤改良及土石投置等工程，除了引起空氣污染、噪音與振動等問題之外，亦影響水質、動植物、水底地形。此外，隨著護堤之構築，因水面的減少與水際線的變更，景觀、動植物棲息地、遊憩場等亦發生變化，另因水象之變化，水質、地形、地質及動植物亦受影響。^{(11), (12)}

至於掩埋階段，廢棄物運入，掩埋作業亦有空氣污染、噪音、振動之問題。另由於廢棄物之存在；腐敗性有機物含量高時，因厭氧性分解排出的滲水及廢氣，會對水質及空氣品質造成重大且長遠的影響。此外廢棄物的飄浮、飛散等亦會對景觀、遊憩及動植物造成影響。表-2 係掩埋廢棄物的種類與主要的水質指標⁽¹⁰⁾。廢棄物之排出源多，性質複雜；其中燃渣、污泥、礦渣、粉塵等

表-2 廢棄物的種類與主要的水質指標

水質指標 廢棄物	pH	BOD	COD	SS	油分	營養分(N、P)	有害物質							備註		
							Hg	Cd	Pb	有機磷	Cr ⁺	As	CN		有機氯	PCB
燃渣	○	○	○	○	○		○	○	○		○	○			○	因排出量、排出設施而異。
污泥	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
廢塑膠		○	○		○										○	係指容器等之附著物。
紙、木、纖維屑		○	○													
動植物性殘渣		○	○		○											
金屬屑		○	○		○										○	係指容器等之附著物。
礦渣	○	○	○	○	○		○	○	○		○	○				鑄物砂含有油分。
建築廢材					○											
動物屍體		○	○		○											
粉塵	○	○	○	○			○	○	○		○	○			○	因排出量，排出設施而異。
事業廢棄物處理物							○	○	○	○	○	○	○	○	○	因事業廢棄物種類而異。
其他一般廢棄物		○	○	○	○	○	○	○	○		○	○			○	

可能含有有害物質，須依判定標準判定係屬無害或經無害化處理，才可進入衛生掩埋場，否則應以安全掩埋法處置。此外，污泥、動植物性殘渣、動物屍體及一般都市垃圾，因腐敗性有機物及N·P營養分含量高，滲出水之污染性強，須作適當的掩埋管理，以防止造成二次公害。

根據日本的經驗，在1960年代填海多以生垃圾為主，但因滲出水的污染，曾造成附近海域發生紅潮現象，在1970年以後規定生垃圾儘量不作直接掩埋處置，須經焚化成灰燼，再作掩埋。⁽³⁾ ⁽¹¹⁾故廢棄物之填海處置，宜以灰燼及無害化之無機廢棄物為主要對象。

四、環境保護對策

為不使最終處置場的設置成為周圍環境之污染源，應審慎檢討下列條件，採取必要的環境保護對策。

4-1 掩埋對象物之管制

由於廢棄物排出源繁多，性質複雜，包括各類可燃、不可燃，生物可分解、不可分解，有害、無害等物質，若處理、處置不當，不但易孳生病媒害蟲散播疾病，破壞景觀，而且可能引起空氣污染、水污染、土壤污染等二次公害問題，致破壞環境生態亦危及人類健康及財產。因此，為妥善處理廢棄物，避免造成二次公害，廢棄物於掩埋處置前，宜先經安定化、無害化前處理，使其適於掩埋處置並避免有害物質混入⁽¹¹⁾。

依我國「有害事業廢棄物認定標準」，有害事業廢棄物分為毒性事業廢棄物、腐蝕性事業廢棄物、感染性事業廢棄物及其他事業廢棄物等四種。所謂毒性事業廢棄物，係指由金屬冶煉、煉油、石化、染顏料、鈦白粉、石棉、煉焦、金屬表面處理、紡織染整、皮革、廢料回收、電池、酸鹼、農藥及環境衛生用藥等十四類工業發產生的廢棄物，其有毒化學物質含量或溶出試驗，超過衛生署訂的標準者。此外，根據廢棄物清理法規定，有害事業廢棄物必須依規定有特殊的貯存、清除、處理、最終處理等方式，不能依一般事業廢棄物的方式處理。

日本對於廢棄物掩埋處理之規定，分共同標準與個別標準，摘要如表-3

, (13), (14) 提供參考。

表-3 日本之廢棄物掩埋處置標準(摘要)

廢棄物 處理 標準	一般廢棄物		事業廢棄物	
			一般事業廢棄物	有害事業廢棄物
共同標準	1. 掩埋場周圍應設隔離設施，並對廢棄物掩埋場加以標示。 2. 防止掩埋場滲出水污染公共水域及地下水。 3. 防止惡臭由掩埋場外逸。 4. 防止鼠、蚊、蠅等病媒孳生。 5. 掩埋廢棄物之每層厚度約 $\leq 3\text{m}$ ，每層皆覆土約 50cm （灼燒減量 $< 15\%$ 之焚化殘渣除外）。			
個別標準 (進行最終處置所必要之前處理)。	水肥	(陸上掩埋) 1. 經水肥處理設施處理。 2. 加入 0.5% 以上之消石灰。 (海域掩埋) 1. 先經水肥處理設施處理。	1. 燃渣、金屬屑、玻璃屑、陶瓷屑、礦渣、建築廢料不須中間處理。 2. 紙木、纖維屑不須中間處理。 3. 動物糞尿、動物屍體、動植物性殘渣，有機性污泥等腐敗物，應焚化處理至燃燒減量 15% 以下或覆土掩埋之（腐敗物含量 $\leq 40\%$ 者，約每掩埋 3m 覆土 50cm ，腐敗物含量 $> 40\%$ 者，約每掩埋 50cm 覆土 50cm ）。	1. 依所含有害物質之種類，濃度，處理過程，其流程如圖-5所示，而認定標準如表-4。
	化糞池污泥	(陸上掩埋) 1. 經水肥處理設施處理。 2. 經焚化處理。 3. 加入 0.5% 以上之消石灰。 (海域掩埋) 1. 經水肥處理設施處理。 2. 經焚化處理。		

<p>其 他 (垃圾 、巨大 垃圾等) 。</p>	<p>1. 含 PCB 之廢棄物，禁止掩埋處置。</p>	<p>4. 污泥應經焚化處理或脫水至含水率 85 % 以下，但有機性污泥則依腐敗物之標準處理之。至於無機性污泥，若採水域掩埋，則不須中間處理。</p> <p>5. 廢油須經焚化處理 (tarpitch 可直接掩埋) 。</p> <p>6. 廢塑膠、橡膠類應破碎，切斷至 15 cm 以下。或經焚化處理。廢塑膠亦可經熔融加工減容。</p> <p>7. 粉塵類應妥予包裝避免飛散。</p> <p>8. 廢酸、廢鹼禁止掩埋處置。</p>
--	------------------------------	---

4 - 2 最終處置場之污染防治設施 ^{(3)~(12)} 。

最終處置場必須具備適當的構造與設施，以安定的貯存廢棄物，保護周圍環境避免造成二次公害問題。

1. 護堤之安定性與水密性。

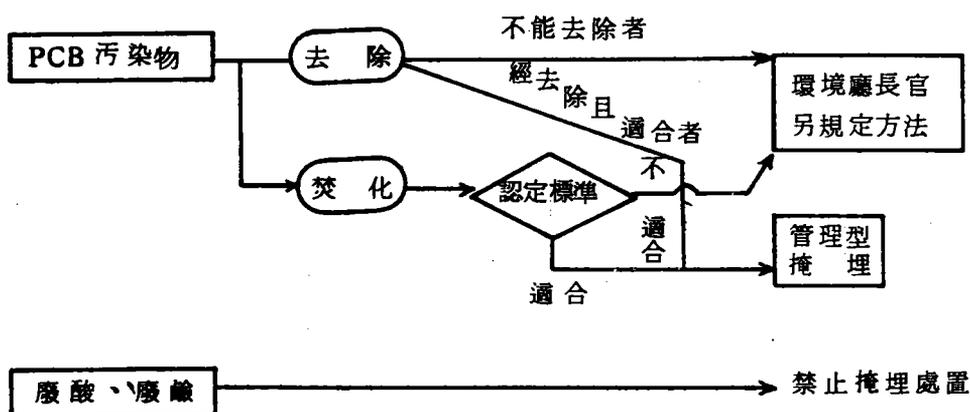
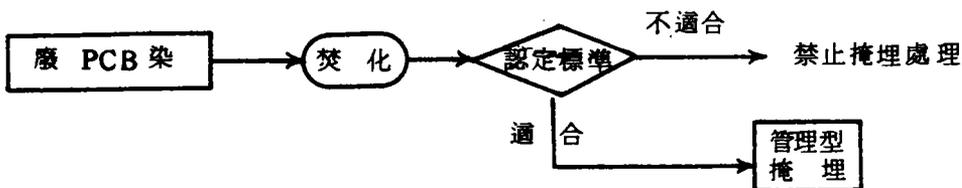
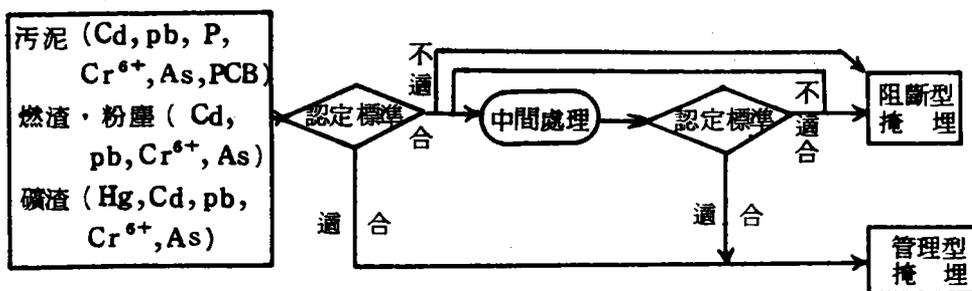
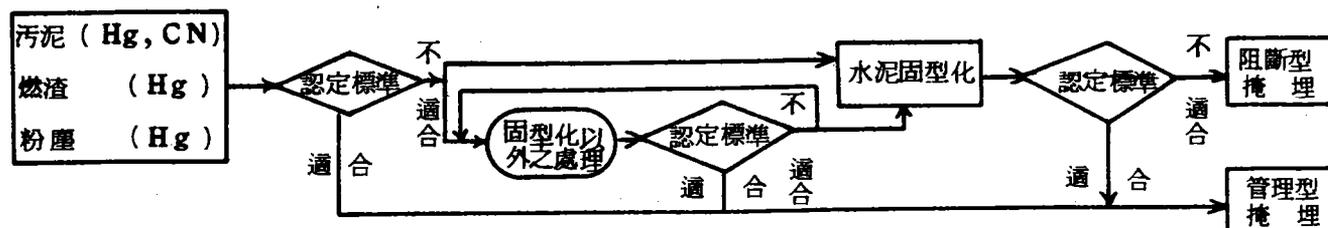


圖-5 日本有害事業廢棄物掩埋處置標準之流程

表 - 4 日本之有害事業廢棄物認定標準

有害物質	掩埋處置	海洋投棄處置		
	<p>①特定事業場工廠排出之污泥、灰渣、烟塵。</p> <p>②燃燒污泥產生之灰渣、烟塵。</p> <p>③①、②之污泥、灰渣、處置烟塵時之處理物。</p> <p>④指定之下水污泥及其處理物。</p> <p>⑤礦渣及其處理物。</p> <p>⑥廢PCB PCB 污染物焚化所產生之灰渣、污泥、烟塵。</p>	<p>①特定事業場工廠排出之有機物污泥及水溶性有機污泥。</p> <p>②有機性特定下水污泥。</p> <p>③PCB 處理物（有機性污泥、水溶性污泥）。</p>	<p>④特定事業場工廠排出之無機性污泥（水溶性除外）</p> <p>⑤灰渣、烟塵。</p> <p>⑥由特定事業場工廠排出之灰渣、烟塵、無機性污泥（水溶性除外）而和PCB有關者。</p> <p>⑦特定下水污泥（灰渣、無機性污泥、烟塵）。</p> <p>⑧礦渣。</p> <p>⑨含汞污泥鍛燒之物。</p>	<p>(11)特定事業場工廠之廢酸、廢鹼。</p>

				⑩ PCB 處理物、灰渣、烟塵、無機性污泥(水溶性除外)。	
水	烷基水銀化合物	不 存 在	不 存 在	不 存 在	不 存 在
銀	水銀或其化合物	0.005	2	0.005	0.05
	鎘及其化合物	0.3	5	0.1	1
	鉛及其化合物	3	50	1	10
	有機磷化合物	1	5	1	1
	六價鉻化合物	1.5	25	0.5	5
	砷及其化合物	1.5	25	0.5	5
	氰化合物	1	5	1	1
	PCB	0.003	0.15	0.003	0.03
	有機氯化合物		40		0
	銅及其化合物		70	3	15
	鋅及其化合物		450	5	90
	氟化合物		1,000	15	200
備 註	溶出物質之檢液 1ℓ 中之物質濃度 (mg/ℓ)	試料 1kg 中物質含有濃度 (mg/kg)	溶出物質之檢液 1ℓ 中物質含有濃度。(mg/ℓ)	檢液 1ℓ 之物質濃度 (mg/ℓ)	

護堤是海域掩埋最主要的設施，須於廢棄物填埋之前構築完成，不但須對本身之自重、廢棄物之壓力、水壓、波浪等具有充分之抗衡強度，且對於地盤沈陷、滑動、翻轉等具有高度安全性，以安定的貯存廢棄物，而且須能阻斷場內外水之流動，避免溶解性污染物滲出，溢出而污染地下水與周圍水體。一般以水密性之二重鋼板或鋼管樁，內置砂層，使具有止水與吸附過濾作用，或配合不透水布、水泥止水壁，達到安全貯存與充分阻斷之目的。又，護堤之構築材料應具抗腐蝕性，以防止 H_2S 、 NH_3 、海水等之侵蝕而影響其水密性。日本東京都中防外側處置場外圍之護堤，如圖-4所示，係二重鋼管樁護岸，其建設費每公尺約1047萬日圓。

此外，一般於外圍護堤附設下列設施，以保護環境。

- ①飛散防止圍籬—以鐵絲網等構築5-7m高之飛散防止圍籬，以防止廢棄物飛落外圍海面，而造成污染且影響景觀。
- ②防波、消波設施—以傾斜堤，直立消波護堤，直立消波防波堤、消波塊等，減輕反射波之影響，並考慮其高度，以保護景觀。此外，消波塊因具曝氣效果，可改善被污染水域之水質，並提供遊憩場所。
- ③排水設施—設於護堤內側，以排除越波海水，減少污水處理量。

2. 污水處理設施：

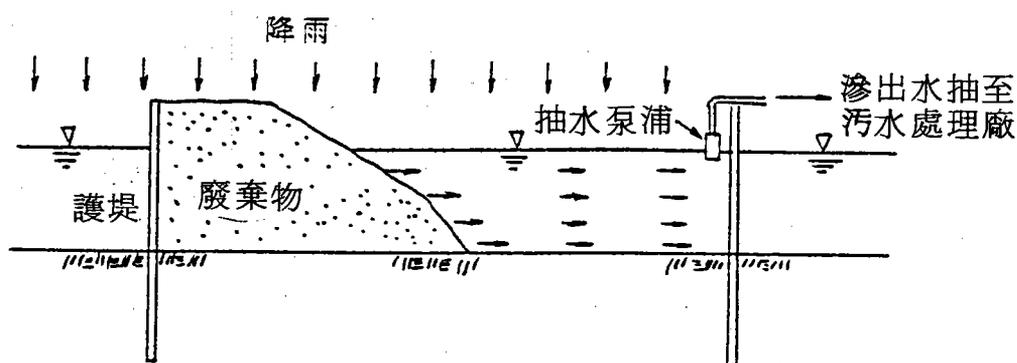


圖-6 管理型海面掩埋場滲出水之產生及流向

於管理型海域掩埋場，其掩埋中之污水產生過程及流向如圖-6所示。廢棄物投入水中即產生浸泡污水，此外降雨與廢棄物接觸亦產生滲出水，此等污水向掩埋場內之殘留水擴散，將使殘留水受到污染。上述污水須處理至該地域

所規定之放流標準才可放流。因此，掩埋場須設置集導水設施及污水處理設施，以收集處理滲出污水。但海域掩埋因地形平坦，可於最終覆土之同時，設置暗渠或明渠，於某一定區間設重力排水，再配合抽水泵浦壓送至污水處理場。此外，因滲出水之水質、水量受降雨之影響，其變動頗大，可設置調整地以減低對處理場造成負荷上的衝擊。

3. 廢氣處理設施

由於廢棄物中之腐敗性有機成分，經厭氧性分解會產生甲烷等可燃性氣體及惡臭成分，有爆炸、起火，產生惡臭等問題，須隨掩埋作業之進行，以透氣蛇籠或多孔管設置水平與垂直集氣管，（如圖 - 3 與圖 - 7）收集所產生的廢氣，將其自然擴散於大氣中，或經燃燒處理，或予以回收有效利用。

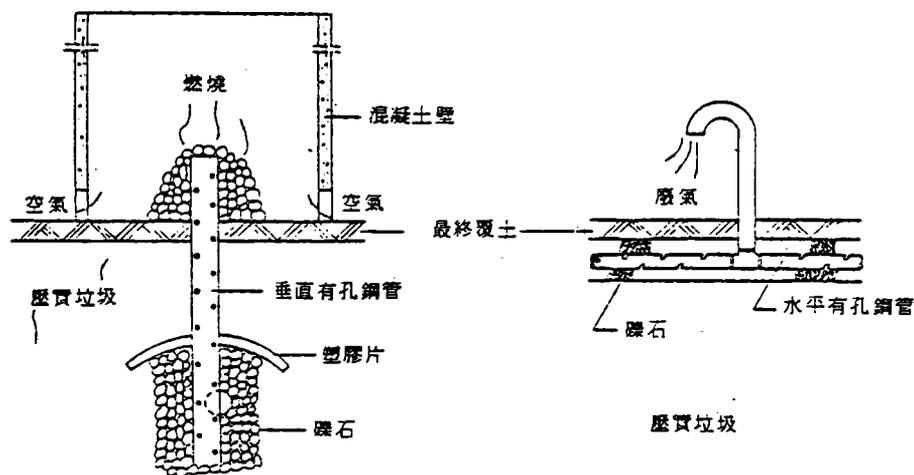


圖 - 7 廢氣收集管及燃燒裝置

4 - 3 最終處置場之操作管理及環境監視

最終處置場除了必要的設施之外，必須配合適當的掩埋技術與掩埋管理，才能使其有效地發揮貯存、阻斷、處理之功能，並促進掩埋地之安定化，以利新生土地之利用。

1. 以中隔堤及分隔堤（如圖 - 8），分段分區填埋，控制污染於最小範圍，且使填埋面儘快高出水面，並設飄浮物防止設施（欄柵或串浮筒），以阻止飄浮物擴散。此外，於周圍水域設置飄浮物清掃船，每日清除被強風吹出海面之飄浮物，以減低污染，並維護景觀。

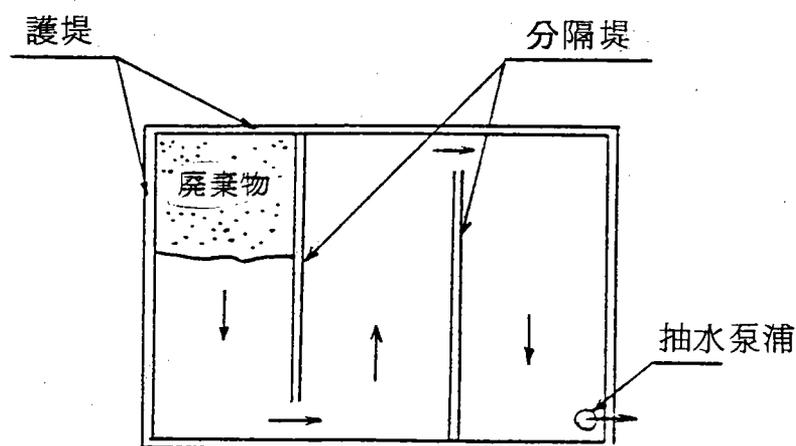


圖-8 海面掩埋場之分隔堤

2. 污泥等擴散性廢棄物放置集中投置區，且避免直接投入水中。例如污泥於投置前先經脫水（含水率 $< 85\%$ ）或固型化（加水泥等混練）。

3. 填埋區內之殘留海水，考慮護堤構造，填埋作業工程，儘可能在被污染之前，將其排至堤外，以減少污水量。例如，於廢棄物投置前，先降低場內水位至低於外水面 4 公尺，使污水不致外溢。此外，設置污濁防止膜，減少殘留海水中污染範圍之擴大，並添加混凝劑，防止土粒隨殘留海水被排出。

4. 配合填埋作業之進行，約每 3 m 填埋廢棄物層，實施約 50 cm 之覆土，以防止廢棄物之飛散，控制臭味、病媒，並促進廢棄物之穩定化。又配合防臭劑、殺蟲劑，以進一步控制惡臭與蚊蠅等害蟲。此外，適時洒水可防塵土飛揚。

5. 鄰近護堤之周圍海面設置浮筒式曝氣器，以淨化污水減輕其污染程度。

6. 於最終處置場之規劃施工階段，儘可能選用低污染性機具、建材，且將進出道路避開住宅且於路側植生綠化，以減少噪音、振動、空氣、水質及景觀方面等之負面影響。

7. 進行最終處置場周圍之環境監視，就排出之殘留海水，處置場外圍水域之水質、底質、生物與生態系等之變化，定期監測，以保護自然環境。

五、結語與建議

1. 廢棄物填海工程有造成空氣污染、水污染、噪音、振動、惡臭、病媒孳生、景觀與生態破壞等二次公害之虞，規劃設置之前，應進行環境影響評估，

探討影響程度並提出環境保護對策，以供規劃、設計與操作管理之依據。

2.廢棄物填海工程之規劃施工階段，應先對掩埋對象加以管制；亦即廢棄物須先經安定化，無害化前處理，再進行填海處置，以有效控制污染。故廢棄物填海，宜以焚化殘渣及無害化之無機廢棄物為主。

3.最終處置場係廢棄物處理之終點站，除了設置必要的設施之外，必須配合適當的掩埋作業技術與管理措施，才能確保其貯存、阻斷、處理之功能，促進掩埋地之安定化，以利新生土地之利用。同時，於掩埋時與掩埋後，實施環境監測，以檢討環境保護對策之成效。

六參考文獻

1. 莊進源“當前我國環境保護策略”，中華民國工程師學會高雄市分會76.年度環境保護政策與技術研討會專輯（民國76年）。
2. “事業廢棄物管制方案背景說明”，行政院衛生署環保局（民國75年）。
3. “都市ごみ處理ガイドブック”，日本環境技術研究會，理工新社出版，（1982年版）。
4. 花嶋正孝，“最終處置場構造及其滲出水處理”，行政院衛生署環保局垃圾掩埋處理專題演講會資料（民國73年）。
5. 張祖恩，“垃圾衛生掩埋處理”，行政院衛生署環保局垃圾處理技術資料彙編，BEP - 73 - 04 - 005（民國73年）。
6. “一般廢棄物衛生掩埋場設置準則”，行政院衛生署環境保護局，BEP - 74 - 04 - 008（民國73年）。
7. “廢棄物處理設施構造指針解說 - 廢棄物最終處分場指針篇”，社團法人全國都市清掃會議（1978年版）。
8. “台北都會區及桃園中壢地區區域性垃圾綜合處理計畫中長程規劃報告書”，財團法人中興工程顧問社（民國75年）。
9. “垃圾壓縮填海方式可行性之研究”，行政院經建會都市及住宅發展處研究報告（74）468•305（民國75年）。
10. “廢棄物の最終處分場に係反環境影響評價の手引”，厚生省水道環境部地域計畫室編，財團法人日本環境衛生センター（1986年版）。
11. “埋立計畫の實施と環境影響調査”，株式會社フジ・テクノシステム（1976年版）。
12. 川崎健、平野敏行、山島靖彥編，“海面埋立てと環境變化”，恒星社厚生閣版（1977年版）。
13. “廢棄物の處理及び清掃に關する法律關係法令集”，財團法人日本環境衛生センター（1984年版）。
14. “產業廢棄物處理必攜”，厚生省環境衛生局水道環境部監修，財團法人日本環境衛生センター（1980年版）。

垃圾填海新生地對水域環境之影響

張金機*

一、前言

“垃圾”二十世紀最普遍的產物，帶給文明世界不少困擾。人們莫不為垃圾出路傷透腦筋；尤其是幅員有限，人煙密佈國家更是為垃圾問題一籌莫展。這種人人隨時隨地都在製造，而却是人人都討厭的東西究竟何去何從？由於生活水準的提升，人們更注意生活環境品質，如何處理垃圾已是迫在眉睫的問題。

垃圾處理最原始方法是找一塊偏遠荒蕪，經濟價值不高的山谷，將成噸垃圾一卡車接一卡車傾倒堆積，任其風吹雨打，蚊蠅孳生臭氣四溢。稍微講究一點的，則在垃圾堆上覆蓋砂土，改善四周環境。但是最可怕，而且最不易為人們注意的是地下水及土壤污染，已在第一卡車垃圾傾倒時逐漸形成。此種潛伏二度公害較表面垃圾問題更嚴重，更不易解決，甚至可以說永無解決的一天。當然以現代工程技術可以興建標準掩埋場使二次公害得以減至最小程度。但是台灣有幾個福德坑？誰家門前願意當垃圾場？再過五年、十年台北區垃圾又要往那裏送？一場永無止境的“垃圾戰爭”將是方興未艾。

陸地上既無垃圾容身之處，填海如何？選擇適當海岸，興築堤防利用分類廢棄物填築新生地，表面覆蓋砂土。基礎穩固地區可以作為工廠用地，鬆軟地區種植林木，草皮提供人民休憩遊樂場所，或者可以開闢為養殖農牧專業區等。以日本、新加坡垃圾填海成功例子，在台灣寸土寸金，一地難求情況下垃圾填海不失為一可行途徑。但是“垃圾填海，開拓國土”並非一蹴可及，其所衍生問題，海洋污染，基礎承載力，堤防穩定沿岸水力變化等均需在規劃設計前運用工程師最大智慧逐項予以克服。

本文主要探討波浪由外海向岸邊傳播，因海底水深變淺，波長波速減小使波浪產生淺化及折射現象（Shoaling and Refraction）。波浪前進碰到防波堤等障礙物，堤前產生反射（Reflection）而在遮蔽區域則造成繞射現象（Diffraction）。當波浪進入淺海區靠近海岸，因水深不足，波浪尖銳度

*台灣省交通處港灣技術研究所副所長

增高，水分子速度加大，逐漸呈不穩狀態，最後終於不穩定而發生碎波（Wave Breaking）。波浪在碎波時消失大量波能，但仍有部份能量轉變為沿岸或向離岸流（Longshore or On-offshore Current）。沿岸附近水流與波浪帶動漂沙，改變海岸地形；相反的，海岸地形也影響沿岸水流與波浪分佈。圖 1-1 為海岸構造物附近可能發生之各種水力現象。

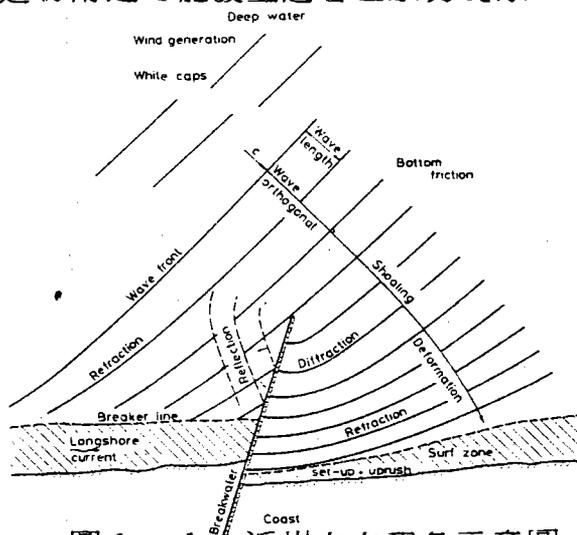


圖 1-1 近岸水力現象示意圖

二、海岸構造物對附近波浪影響

海岸構造物一般可分為突堤與離岸堤兩種類型。本節將介紹 C.C. Mi 與 P. L-F Liu 研究波浪由深海進入淺水區水深逐漸減小，碰到堤防造成淺化、折射、反射及繞射現象改變構造物附近波浪條件。

基本假設

1. 海灘為固定床，海岸均勻，等深線平行海岸。
2. 堤防為垂直斷面，全反射，不透水，寬度與波長相較可以忽略。
3. 突堤長度超越碎波區。

圖 2-1 為突堤與離岸堤示意圖與坐標系統，Z 軸以垂直向上為正。

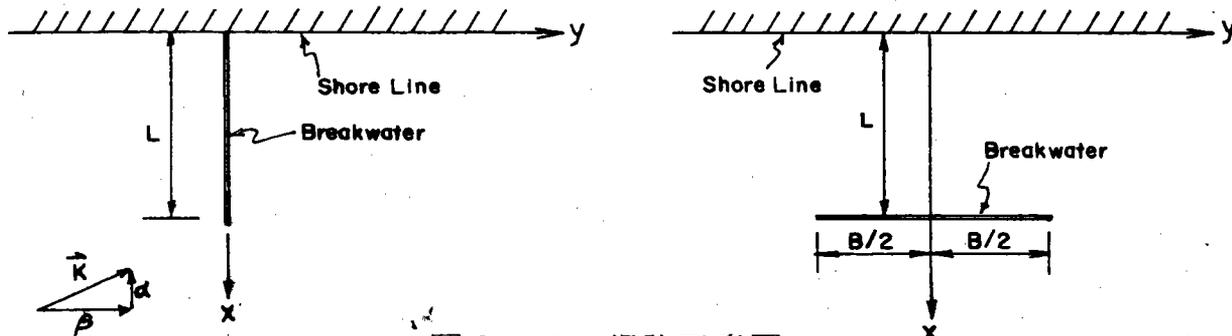


圖 2-1 堤防示意圖

設深海處 $X \sim \infty$ ，水深為 h_∞ ，波浪振幅為 a_∞ ，若忽略海灘反射，則進入淺海區入射波浪之流速勢 (Velocity Potential) ϕ_1 及水位 (Free Surface Displacement) η_1 分別為

$$\phi_1 = \text{Re} \left\{ -\frac{iga \cosh k(h+z)}{\cosh kh} \exp[-i \int^x \alpha(x') dx' + i\beta y - i\omega t] \right\} \quad (2-1)$$

$$\eta_1 = \text{Re} \{ a \exp[-i \int^x \alpha(x') dx' + i\beta y - i\omega t] \} \quad (2-2)$$

上式中 Re 表實數部份；k 為波數 (Wave Number) $= 2\pi/\lambda$ ， λ 為波長； α, β 為 k 在 x 及 y 軸之分量； $\omega = 2\pi/T$ ，T 為波浪週期。

根據波浪擴散關係 (Dispersion Relation) 波長 $\lambda = 2\pi/k$ 隨水深減小而減短。

$$\omega^2 = gk \tanh kh = g k_\infty \tanh k_\infty R_\infty \quad (2-3)$$

上式中 ∞ 表示無限遠處之量，相位速度為 ω/k

若海底等深線為平行海岸之直線，波浪折射，根據 Snell's Law 可寫為

$$\beta = k \sin \theta = k_\infty \sin \theta_\infty$$

$$\frac{\sin \theta}{C} = \frac{\sin \theta_\infty}{C_\infty} = \text{constant} \quad (2-4)$$

$$k^2 = \alpha^2 + \beta^2, k_\infty^2 = \alpha_\infty^2 + \beta_\infty^2$$

θ 為介於波向線 (Wave Ray) 與等深線垂直線之夾角；因之，當 k 值隨水深減小而增加時，夾角 θ 比例減小，波向線逐漸趨向於與海岸等深線垂直。

前進波之淺化係數 (Shoaling Coefficient) 為

$$\begin{aligned} \frac{a}{a_\infty} &= \left[\frac{k}{k_\infty} \frac{\alpha_\infty}{\alpha} \frac{2k_\infty h_\infty + \sinh 2k_\infty h_\infty}{2kh + \sinh 2kh} \right]^{1/2} \frac{\cosh kh}{\cosh k_\infty h_\infty} \\ &= \left[\frac{k}{k_\infty} \frac{\alpha_\infty}{\alpha} \frac{Cg_\infty}{Cg} \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (2-5)$$

上式中群波速度 (Group Velocity) $Cg = \frac{1}{2} C \left[1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right]$

若海岸相當平緩時，在一個波長內水深變化極為微小，即 $\frac{1}{kh} \frac{dh}{dx} \ll 1$

若忽略淺化區能量損失，則利用兩波向線間，稱為向線管 (Ray Tube)，

能量通量守恆原則求得

$$E C_g \frac{\alpha}{k} = [E C_g \frac{\alpha}{k}]_{\infty}$$

E 為波浪能量 = $\frac{1}{2} \rho g a^2$, $C_g \alpha / k$ 為群波波速向岸分量。

根據圖 2-2 , 突堤 AO 將波場分為下列三個區域

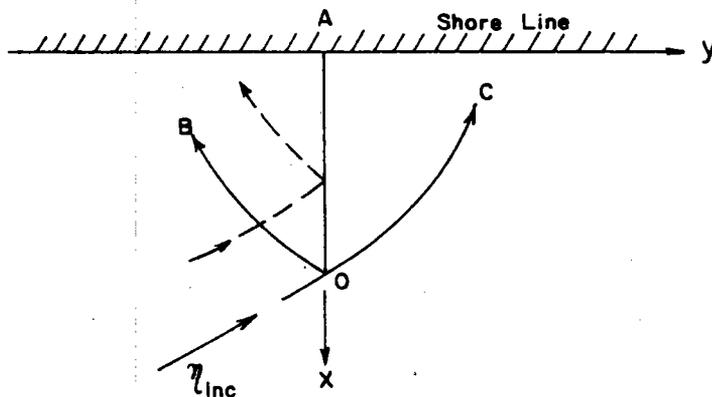


圖 2-2 波浪受突堤影響分區

I BOC 海向部份：入射區域不受突堤存在影響。

II AOC 部份：遮蔽區域，不受波浪直接作用。

III AOB 部份：反射區域，受入射波及反射波雙重作用。

OC 曲線代表經過 O 點之波向線，OB 為經 O 點之反射線，上述三個區域

波場近似值分別為

I 入射區： $\eta_x = \text{Re} \{ a \exp -i [\int^x \alpha (x') dx' - \beta y - \omega t] \}$

II 遮蔽區： $\eta_x = 0$

III 反射區： $\eta_x = \text{入射波} + \text{反射波}$

$$= \text{Re} \{ a \exp -i [\int^x \alpha (x') dx' - \beta y + \omega t] + a \exp -i [\int^x \alpha (x') dx' + \beta y + \omega t] \}$$

顯然；上式為一近似解，僅能滿足距 OB 及 OC 相當遠處之波場，因此在物理上存在有一轉變區，以滿足兩區間之連續。

1. 防波堤下波區 (Down-Wave Region of the Breakwater) — 波浪折射與繞射組合

為便利數學解析，轉變區之坐標改採用波向線與相位線正交系統，依據 Fermat's Principle, 經過 P 及 P' 兩點之波向線之光線距離 (Optical

Distance)

$$\int_{P_0}^{P_1} k \sqrt{1 + (dy/dx)^2} dx$$

為最小。因等深線平行 $k = k(x)$ ，故波向線為

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-\beta}{\sqrt{k^2 - \beta^2}} = -\tan \theta \quad (2-6)$$

相位線為

$$\frac{dy}{dx} = + \frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta} = \cot \theta \quad (2-7)$$

上二式積分得波向線及相位線方程式分別為

$$y - y_0 = - \int_{x_0}^x \frac{\beta dx}{\sqrt{k^2 - \beta^2}} \quad (2-8)$$

$$y - y_0 = \int_{x_0}^x \frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta} dx \quad (2-9)$$

(x_0, y_0) 為波向線與相位線通過之一點，將上式改為曲線坐標 (ξ, ζ) 原點採用堤之端點 (即 $x_0 = L, y_0 = 0$)。設 $\xi = 0$ 為 OC 重疊之波向線，如圖 2-3 則

$$\xi = y + \int_L^x \frac{\beta dx}{\sqrt{k^2 - \beta^2}} \quad (2-10)$$

$$\zeta = y - \int_L^x \frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta} dx \quad (2-11)$$

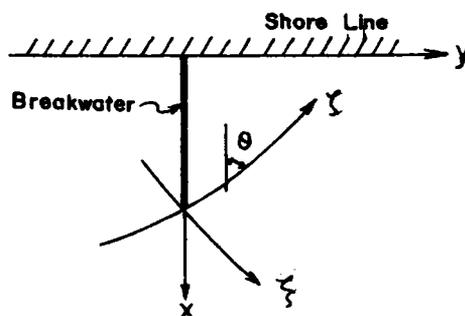


圖 2-3 曲綫坐標系統

上式顯示， $\xi = \text{constant}$ 為一波向線， $\zeta = \text{constant}$ 為一相位線。
 (ξ, ζ) 及 (x, y) 兩坐標系統關係為

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \tan \theta = \frac{\beta}{\sqrt{k^2 - \beta^2}}, \quad \frac{\partial \xi}{\partial y} = 1 \quad (2-12)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} = -\cot \theta = -\frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta}, \quad \frac{\partial \zeta}{\partial y} = 1 \quad (2-13)$$

入射波受淺化與折射影響以 (ξ, ζ) 坐標系統表示為

$$\phi_1 = \text{Re} \left\{ -\frac{iga \cosh k(h+z)}{\omega \cosh kh} \exp i[\beta\zeta - \omega t] \right\} \quad (2-14)$$

$$\eta_1 = \text{Re} \{ a \exp i[\beta\zeta - \omega t] \} \quad (2-15)$$

在遮蔽區，波浪振幅必需由 "a" 逐漸減小至內部為 0，設遮蔽區波浪繞射振幅調變係數為 D，則

$$\eta = \text{Re} \{ aD(\xi, \zeta) \exp i[\beta\zeta - \omega t] \} \quad (2-16)$$

$$\phi = \text{Re} \left\{ -\frac{igaD \cosh k(h+z)}{\omega \cosh kh} \exp i[\beta\zeta - \omega t] \right\} \quad (2-17)$$

波浪沿相位線方向變化遠較波向線方向為大，即

$$\frac{\partial D}{\partial \zeta} \ll \frac{\partial D}{\partial \xi}$$

利用攝動法，經過相當繁長的推導後證明

$$\frac{\partial^2 D}{\partial \xi^2} + 2i\beta \cot^2 \theta \frac{\partial D}{\partial \zeta} = 0 \quad (2-18)$$

θ 為推算點波向線夾角，其邊界條件為

$$\xi \rightarrow \infty, D = 1; \quad \xi \rightarrow -\infty, D = 0$$

D 值之解可以 Fresnel Integral 指數函數表示

$$D = \sqrt{\frac{\beta}{2\pi}} e^{-i\frac{\pi}{4}} \int_{-\infty}^{\xi/\sqrt{Y}} e^{i\beta \frac{\tau^2}{2}} d\tau \quad (2-19)$$

$$Y = \int \xi \tan \theta d\zeta$$

當 ξ 為固定參數時， $\theta = \theta(\zeta)$

$$S(\sigma) = \int_0^\sigma \sin\left(\frac{\pi\tau^2}{2}\right) d\tau \quad (2-20)$$

$$C(\sigma) = \int_0^\sigma \cos\left(\frac{\pi\tau^2}{2}\right) d\tau \quad (2-21)$$

上式爲 Fresnel sine 及 Cosine 積分函數則 (2-19) 式可寫爲

$$D(\xi, \zeta) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ \left[\frac{1}{2} + C(\sigma) \right] + i \left[\frac{1}{2} + S(\sigma) \right] \right\} e^{-i\pi/4} \quad (2-22)$$

$$\sigma = \beta \xi / \sqrt{\pi \beta Y}$$

(2-16) 式取實數部份，則遮蔽區邊界附近水位變化爲

$$\eta = A \cos(\beta\zeta - \omega t - \theta) \quad (2-23)$$

式中振幅

$$A = a \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} + C(\sigma) \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} + S(\sigma) \right]^2 \right\}^{1/2} = aD \quad (2-24)$$

相位角 θ 及對應流速勢分別爲

$$\theta = \frac{\pi}{4} - \tan^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2} + S(\sigma)}{\frac{1}{2} + C(\sigma)} \right] \quad (2-25)$$

$$\phi = \frac{gA}{\omega} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(\beta\zeta - \omega t - \theta) \quad (2-26)$$

(2-24) 式中 a 爲淺化後振幅，可以淺化公式 (2-5) 式求得 (2-23) 及 (2-24) 可視爲振幅爲 A 之前進波；振幅 A 則沿波峰線方向調變，即 a 乘以係數 $|D|$ 。(2-24) 式中之 D 值稱之爲繞射係數 (Diffraction Factor)，圖 2-4 爲突堤 400 m， $\theta_\infty = 45^\circ$ ，海底波度分別爲 1/10， $X \leq 100$ ，1/100， $X > 100$ ，所繪製之等 D 值圖。

2. 防波堤上波區 (Up-Wave Region of the Breakwater)

防波堤上波區受入射波及反射波影響，沿邊界附近漸變區其處理方法與下波區 (Down-Wave Region) 相似。曲線坐標系統爲 (ξ^1, ζ^1) ，如圖 2-5 所示，原點 0 爲防波堤端點， ζ^1 軸與端點反射線重合。

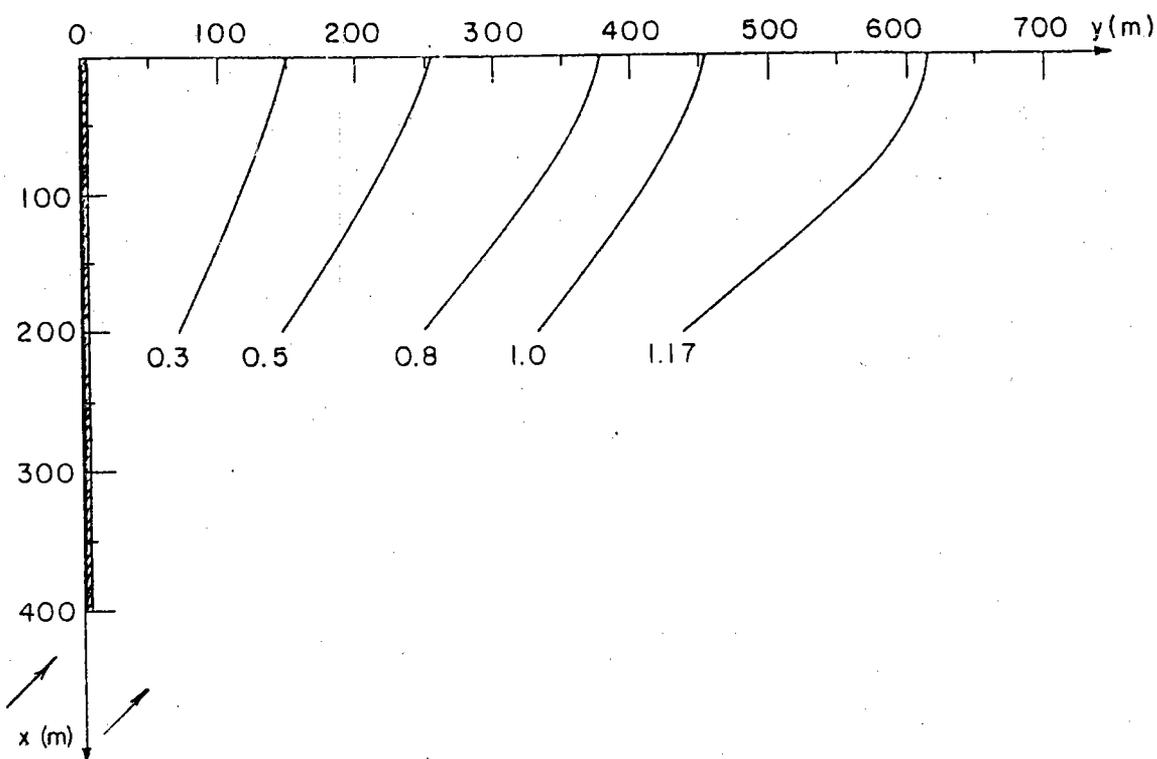


圖 2-4 突堤波浪繞射係數外海波向 $\theta_{\infty} = 45^{\circ}$

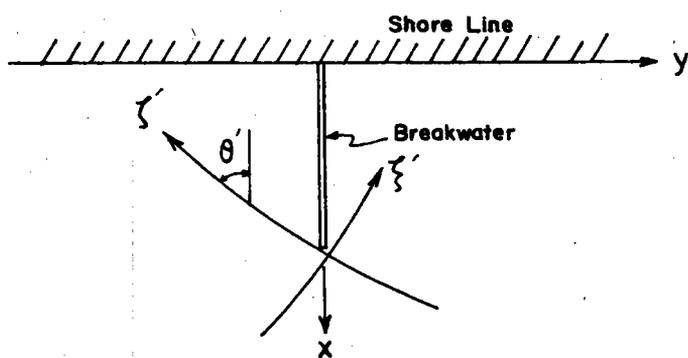


圖 2-5 上波區曲線坐標

$$\xi^1 = y - \int_L^x \frac{\beta dx}{\sqrt{k^2 - \beta^2}} \quad (2-27)$$

$$\zeta^1 = -y - \int_L^x \frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta} dx \quad (2-28)$$

$\xi^1 = \text{常數}$ 代表一反射波波向線， $\zeta^1 = \text{常數}$ 則為反射波等相位線。

$$\frac{\partial \xi^1}{\partial x} = -\tan \theta' = -\frac{\beta}{\sqrt{k^2 - \beta^2}}, \quad \frac{\partial \xi^1}{\partial y} = 1 \quad (2-29)$$

$$\frac{\partial \zeta'}{\partial x} = -\cot \theta' = -\frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta}, \quad \frac{\partial \zeta'}{\partial y} = 1 \quad (2-30)$$

θ' 為反射波波向線與海底等深線夾角，在 (ξ', ζ') 坐標系統中，反射波為

$$\eta_r = \text{Re} \{ a \exp i[\beta \zeta' - \omega t] \} \quad (2-31)$$

$$\phi_r = \text{Re} \left\{ -\frac{iga}{\omega} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \exp i[\beta \zeta' - \omega t] \right\} \quad (2-32)$$

波浪淺化後振幅為 a ，反射區波浪重疊，波形及流速勢分別為

$$\eta_m = \eta_i + \eta_r = 2a \cos \beta y \cos \left(\int^x \alpha(x') dx' + \omega t \right) \quad (2-33)$$

$$\phi_m = \phi_i + \phi_r = -\frac{2ag \cosh k(h+z)}{\omega \cosh kh} \cos \beta y \sin \quad (2-34)$$

$$\left[\int^x \alpha(x') dx' + \omega t \right]$$

上式中

$\beta y = (n + \frac{1}{2})\pi$ 時為節點線 (Nodal Line)， $n = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$

$\beta y = n\pi$ 時為反節點線 (Antinodal Line)， $n = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$

通過反射邊界 OB ，沿反射波峰線，反射波振幅由 a 逐漸減至入射區為 0 在轉變區其解為

$$\eta = \eta_i + D(\xi', \zeta') \eta_r \quad (2-35)$$

$$\phi = \phi_i + D(\xi', \zeta') \phi_r \quad (2-36)$$

上式中 $D(\xi', \zeta')$ 為反射波之調變係數，其邊界條件為當 $\xi' \rightarrow -\infty$ 時， $D(\xi', \zeta') \rightarrow 0$ ；當 $\xi' \rightarrow \infty$ 時， $D(\xi', \zeta') \rightarrow 1$ 。 $D(\xi', \zeta')$ 可視為反射邊界之繞射係數與下波區相對稱，其解為

$$D(\xi', \zeta') = \frac{\beta}{\sqrt{2\pi}} e^{i\frac{\pi}{4}} \int_{-\infty}^{\xi'} \frac{1}{\sqrt{Y'}} e^{i\beta \frac{\tau^2}{2}} d\tau \quad (2-37)$$

式中 $Y' = \int_{\zeta'}^{\zeta} \tan^2 \theta' d\zeta'$

其對應之水位及流速勢分別為

$$\eta = \text{Re} \{ A' \exp[-i \int^x \alpha(x') dx' + \omega t - \theta'] \} \quad (2-38)$$

$$\phi = \text{Re} \left\{ -\frac{igA'}{\omega \cosh kh} \cosh k(h+z) \exp -i \left[\int^x \alpha(x') dx' + \omega t - \theta' \right] \right\} \quad (2-39)$$

式中

$$A^1 = a \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{2} + C(\sigma') \right)^2 + \left(\frac{1}{2} + S(\sigma') \right)^2 \right] + \sqrt{2} \left(\frac{1}{2} + C(\sigma') \right) \cos\left(\frac{\pi}{4} + 2\beta y\right) + \sqrt{2} \left(\frac{1}{2} + S(\sigma') \right) \sin\left(\frac{\pi}{4} + 2\beta y\right) \right\}^{1/2} \quad (2-40)$$

$$\theta^1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{\pi}{4} + \beta y\right) \left(\frac{1}{2} + C(\sigma') \right) - \cos\left(\frac{\pi}{4} + \beta y\right) \left(\frac{1}{2} + S(\sigma') \right)}{\sqrt{2} \cos \beta y + \cos\left(\frac{\pi}{4} + \beta y\right) \left(\frac{1}{2} + C(\sigma') \right) + \sin\left(\frac{\pi}{4} + \beta y\right) \left(\frac{1}{2} + S(\sigma') \right) - \sqrt{2} \sin \beta y} \right\} \quad (2-41)$$

式中 $\sigma' = \beta \xi' / \sqrt{\pi \beta Y'}$

3. 離岸堤附近波場 (The Wave Field Near An Offshore Breakwater)

坐標系統如圖 2 所示，x 軸及 y 軸分別垂直及平行等深線；z 軸垂直向上。離岸堤長度 B，設置於 X = L 處。由於離岸堤存在，堤防附近波場受擾動。設 bc 及 de 為通過離岸堤兩端點 b 及 d 處之入射波波向線，根據光學幾何，離岸堤陸側波場分為兩個區域，如圖 2-6 所示。

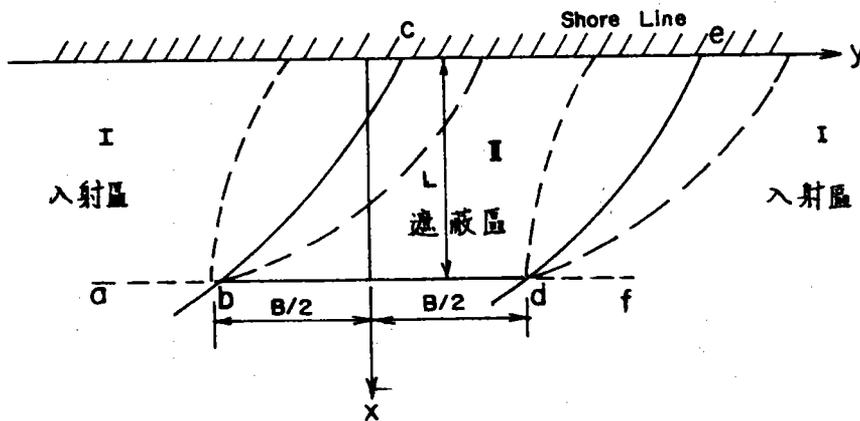


圖 2-6 防波堤陸側波浪分區

I 入射波區：abc 左側及 edf 右側，此區波場不受離岸堤存在影響。

II 遮蔽區：cbde 為遮蔽區，波浪運動不顯著。

上述兩區域波浪可以下式表式

$$I \quad \eta_x = \text{Re} \{ a \exp -i [\int^x \alpha(x') dx - \beta + \omega t] \}$$

$$II \quad \eta_x = 0$$

如同前述突堤解析方法，離岸堤在 bc 及 dc 存有兩個轉變區，以滿足物理上連續條件。利用 Fermat's Principle 找出波向線及相位線，代入新坐標系統 (ξ, ζ) ，以堤端 d 為原點， $\xi = 0$ 與經過原點之波向線 de 重合為遮蔽區邊界線，則

$$\xi = y - \frac{B}{2} + \int_L^x \frac{\beta dx}{\sqrt{k^2 - \beta^2}} \quad (2-42)$$

$$\zeta = y - \frac{B}{2} - \int_L^x \frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta} dx \quad (2-43)$$

與前節所述相同， $\xi = \text{常數}$ 代表一波向線， $\zeta = \text{常數}$ 代表相位線。通過 b 點在 bc 附近轉變區坐標系統 (ξ', ζ') 亦可以上述方法求得

$$\xi' = \left(y + \frac{B}{2}\right) + \int_L^x \frac{\beta^2}{\sqrt{k^2 - \beta^2}} dx = \xi + B \quad (2-44)$$

$$\zeta' = \left(y + \frac{B}{2}\right) - \int_L^x \frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta} dx = \zeta + B \quad (2-45)$$

$\xi' = 0$ 與遮蔽邊界 bc 重疊，由 (ξ, ζ) ， (ξ', ζ') 及 (x, y) 三種坐標其關係為

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{\partial \xi'}{\partial x} = \tan \theta = \tan \theta' = \frac{\beta}{\sqrt{k^2 - \beta^2}} \quad (2-46)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial y} = \frac{\partial \xi'}{\partial y} = 1$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{\partial \zeta'}{\partial x} = -\cot \theta = -\cot \theta' = -\frac{\sqrt{k^2 - \beta^2}}{\beta} \quad (2-47)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{\partial \zeta'}{\partial y} = 1$$

入射波以 (ξ, ζ) 及 (ξ', ζ') 坐標表示，其流速勢及水位為

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \text{Re} \left\{ -\frac{iga}{\omega} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \exp i[\beta \zeta - \omega t] \right\} \\ &= \text{Re} \left\{ -\frac{iga}{\omega} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \exp i[\beta \zeta' - \omega t - \beta B] \right\} \end{aligned} \quad (2-48)$$

$$\eta_1 = \text{Re}\{a \exp i[\beta\zeta - \omega t]\} = \text{Re}\{a \exp i[\beta\zeta' - \omega t - \beta B]\} \quad (2-49)$$

將轉變區波浪以調變係數表示，並考慮遮蔽邊界 de 及 bc 之繞射，則遮蔽邊界 de 之波形及流速勢分別為

$$\eta = \text{Re}\{a D(\xi, \zeta) \exp i[\beta\zeta - \omega t]\} \quad (2-50)$$

$$\phi = \text{Re}\left\{-\frac{iga D(\xi, \zeta) \cosh k(h+z)}{\omega \cosh kh} \exp i[\beta\zeta - \omega t]\right\} \quad (2-51)$$

遮蔽邊界 bc 之波形及流速勢分別為

$$\eta = \text{Re}\{a D'(\xi', \zeta') \exp i[\beta\zeta' - \omega t - \beta B]\} \quad (2-52)$$

$$\phi = \text{Re}\left\{-\frac{iga D'(\xi', \zeta') \cosh k(h+z)}{\omega \cosh kh} \exp j[\beta\zeta' - \omega t - \beta B]\right\} \quad (2-53)$$

利用邊界條件解得 $D(\xi, \zeta)$ 及 $D'(\xi', \zeta')$ 分別為

$$D(\xi, \zeta) = \sqrt{\frac{B}{2\pi}} e^{\frac{i\pi}{4}} \int_{-\infty}^{\xi/\sqrt{ye}} i \frac{\tau^2}{2} d\tau \quad (2-54)$$

$$D'(\xi', \zeta') = \sqrt{\frac{\beta}{2\pi}} e^{\frac{i\pi}{4}} \int_{\xi'/\sqrt{y'}}^{\infty} e^{i \frac{\tau^2}{2}} d\tau \quad (2-55)$$

式中 $Y = \int_0^{\zeta} \tan^2 \theta d\zeta$, $Y' = \int_0^{\zeta'} \tan^2 \theta' d\zeta'$

$$\eta = A \cos(\beta\zeta - \omega t - \theta) \quad (2-56)$$

$$\eta = A' \cos(\beta\zeta' - \omega t - \theta') \quad (2-57)$$

式中 $A = a \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} + C(\sigma) \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} + S(\sigma) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$

$$A' = a \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} - C(\sigma') \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} - S(\sigma') \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta = \frac{\pi}{4} - \tan^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} + S(\sigma)}{\frac{1}{2} + C(\sigma)} \right\}$$

$$\theta' = \frac{\pi}{4} + \beta B - \tan^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} - S(\sigma')}{\frac{1}{2} - C(\sigma')} \right\}$$

$$\sigma = \beta \xi / \sqrt{\pi \beta Y}$$

$$\sigma^1 = \beta \xi^1 / \sqrt{\pi \beta Y^1}$$

其對應流速勢分別為

$$\phi = \frac{gA}{\omega} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(\beta \zeta - \omega t - \theta) \quad (2-58)$$

$$\phi = \frac{gA^1}{\omega} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(\beta \zeta^1 - \omega t - \theta^1) \quad (2-59)$$

(2-56) 及 (2-57) 二式可視為前進波，其振幅分別為 A 及 A^1 沿波峯方向之調變。如果離岸堤有足夠之長度，則兩個轉變區之交互作用可以忽略。圖 2-7 及 2-8 為繞射係數計算實例，離岸堤長度 $B = 700 \text{ m}$ ，設置於 $X = 350 \text{ m}$ 處，海底波度為 $1/50$ ，外海入射波波向分別為 0° 及 60° 。

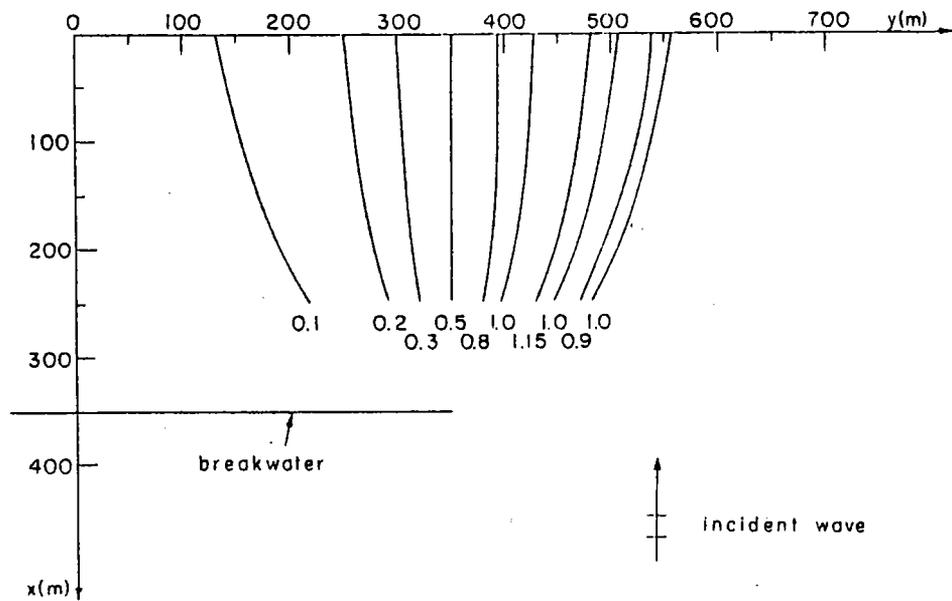


圖 2-7 離岸堤波浪繞射係數 $\theta_\infty = 0^\circ$

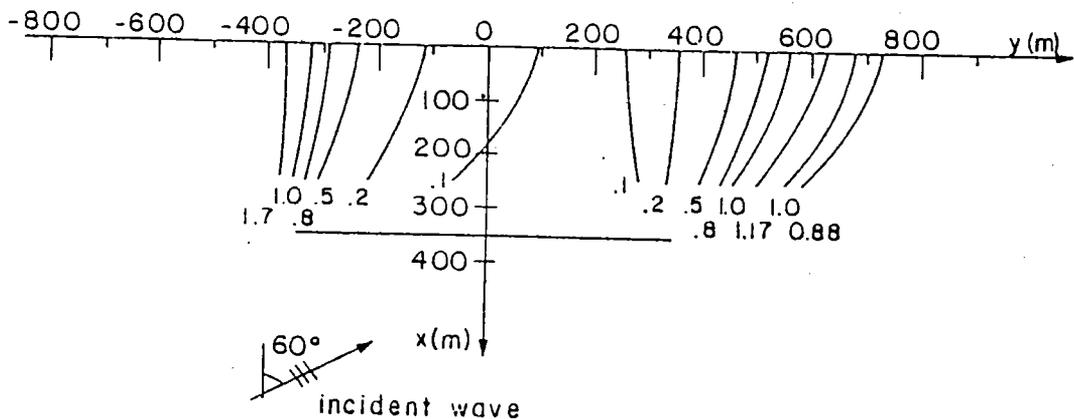


圖 2-8 離岸堤波浪繞射係數 $\theta_\infty = 60^\circ$

三、近岸流之數值模擬

(一)理論解析

沙灘海岸受波浪擾動時使沙粒暫時懸浮或沿底床滾動，再經近岸水流將沙粒往下波區 (Down-Wave Region) 移動，形成沿岸漂沙。近岸流可以說是影響沿岸漂沙最主要之因素。為要了解沿岸冲刷或堆積，對近岸水流分佈情形必需有充分認識。

本節所介紹內容為 C.C. Mei 及 L-F Liu 在 1974 年研究突堤及離岸堤對近岸水流之數值模擬。

突堤及離岸堤採用之坐標系統與第二節相同，設某一水深水平流速為 q_i ， $q_1 = U$ ， $q_2 = V$ ，垂直向流速為 W 則水平平均流速為

$$U_i = \frac{1}{\bar{\eta} + h} \int_{-h}^{\bar{\eta}} q_i dz \quad (3-1)$$

上式中 $\bar{\eta}(x, y, t)$ 為水位變化， $\bar{\eta}$ 為平均值， $h(x, y)$ 為靜水深。在物理上 $\rho U_i (\bar{\eta} + h)$ 為經過垂直斷面之平均質量流動量 (Mass Flux)，向量 (U_1, U_2) 稱之為質量流動速度 (Mass Flux Velocity)，任意時間之流速 q_i 為

$$q_i = U_i + \tilde{U}_i(x, y, z, t) \quad (3-2)$$

\tilde{U}_i 為速度偏差 (Deviation)，其定義為

$$\int_{-h}^{\bar{\eta}} \tilde{U}_i dz = 0 \quad (3-3)$$

不可壓縮流體連續方程式為

$$\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3-4)$$

積分得

$$\int_{-h}^{\bar{\eta}} \frac{\partial q_i}{\partial x_i} dz + [w]_{\bar{\eta}} - [w]_{-h} = 0 \quad (3-5)$$

$[w]_{\bar{\eta}}$ 及 $[w]_{-h}$ 分別為 $z = \bar{\eta}$ 及 $-h$ 處之 w 值。

自由表面及底床之動力邊界條件分別為

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + q_i \frac{\partial \eta}{\partial x_i} = w, \quad z = \eta \quad (3-6)$$

$$\left. \begin{array}{l} q_i = w = 0 \quad \text{滯性流} \\ \text{或} \quad q_i \frac{\partial \eta}{\partial x_i} + w = 0 \quad \text{非滯性流} \end{array} \right\} z = -h \quad (3-7)$$

利用 Leibniz Rule (3-5) 式經推導，簡化後可寫成

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \int_{-h}^{\eta} q_i dz = 0$$

其時間平均值為

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} [U_i (\bar{\eta} + h)] = 0 \quad (3-8)$$

在碎波區 (Surf Zone) 內忽略 $\partial \bar{\eta} / \partial t$ ，則質量守恆為

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [U_i (\bar{\eta} + h)] = 0 \quad (3-9)$$

$$\rho (\bar{\eta} + h) U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_i} = -\rho g (\bar{\eta} + h) \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} (-S_{ij} + T_{ij}) + \bar{\tau}_{ij}^B \quad (3-10)$$

上式中 S_{ij} 為 Longuet-Higgins & Stewart (1960) 所求得之輻射應力張量在 (i, j) 向分量。 T_{ij} 為雷諾應力積分張量在 (i, j) 之分量 $\bar{\tau}_{ij}^B$ 為底床摩擦剪力之平均值。

$$S_{ij} = \left[\int_{-h}^{\eta} \rho dz - \int_{-h}^{\bar{\eta}} \rho g (\bar{\eta} - z) dz \right] \delta_{ij} + \int_{-h}^{\bar{\eta}} \rho u'_i u'_j dz \quad (3-11)$$

$$T_{ij} = - \int_{-h}^{\eta} \rho u''_i u''_j dz \quad (3-12)$$

上式中 U'_i 及 U''_i 分別為 Wave fluctuation 及 Random turbulent fluctuations 即 $\tilde{U}_i = U'_i + U''_i$ ， $U'_i = \partial \phi / \partial x_i$ ， δ_{ij} 為 (i, j) 向之微小量。

再進一步簡化，假設側向亂流應力予以忽略不計，底床摩擦剪力與 U 成正比則 $\tau_{ij}^B = -C_f \rho U_0 U_i$ ， C_f 為摩擦係數約為 0.1， U_0 為速度比尺， $U_0 = gka / w \cosh kh$ 。在碎波帶內速度比尺 $U_0 = \frac{A}{\bar{\eta} + h} \sqrt{g(\bar{\eta} + h)} = r \sqrt{g(\bar{\eta} + h)}$ ， $r = A / (\bar{\eta} + h)$ 其值採用 0.4。則碎波區內 (3-9) 及 (3-10) 可寫為

$$\frac{\partial}{\partial x} [U(\bar{\eta}+h)] + \frac{\partial}{\partial y} [V(\bar{\eta}+h)] = 0 \quad (3-13)$$

式中 $U = U_1$, $V = U_2$, $X = X_1$, $Y = X_2$

$$0 = -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} - \frac{1}{\rho(\bar{\eta}+h)} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) - \frac{C_r U \cdot U}{\bar{\eta}+h} \quad (3-14)$$

$$0 = -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} - \frac{1}{\rho(\bar{\eta}+h)} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) - \frac{C_r U \cdot V}{\bar{\eta}+h} \quad (3-15)$$

設平均水位 η 可分為 $\bar{\eta}_0$ 及 $\bar{\eta}_r$

$$\bar{\eta} = \bar{\eta}_0 + \bar{\eta}_r \quad (3-16)$$

$\bar{\eta}_r$ 平衡輻射應力, $\bar{\eta}_0$ 為水流所產生部份, 在淺化區 (Shoaling Zone) 水流係由碎波邊界條件所引起, 其控制方程式為

$$\frac{\partial}{\partial x} (hU) + \frac{\partial}{\partial y} (hV) = 0 \quad (3-17)$$

$$0 = -g \frac{\partial \bar{\eta}_0}{\partial x} - \frac{C_r U \cdot U}{h} \quad (3-18)$$

$$0 = -g \frac{\partial \bar{\eta}_0}{\partial y} - \frac{C_r U \cdot V}{h} \quad (3-19)$$

設碎波區之輸送流函數 (Transport stream Function) 為 φ_- 則

$$\left. \begin{aligned} U(\bar{\eta}+h) &= -\frac{\partial \varphi_-}{\partial y} \\ V(\bar{\eta}+h) &= \frac{\partial \varphi_-}{\partial x} \end{aligned} \right\} X < X_b(y) \quad (3-20)$$

$X_b(y)$ 為碎波線與岸邊之距離

(3-14) 及 (3-15) 動量方程式可寫為

$$\frac{\partial \varphi_-}{\partial y} = \frac{g^{1/2} (\bar{\eta}+h)^{3/2}}{r C_r} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + \frac{(\bar{\eta}+h)}{\rho r C_r g^{1/2}} \left[\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right] \quad (3-21)$$

$$\frac{\partial \varphi_-}{\partial x} = -\frac{g^{1/2} (\bar{\eta}+h)^{3/2}}{r C_r} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} - \frac{(\bar{\eta}+h)^{1/2}}{\rho r C_r g^{1/2}} \left[\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right] \quad (3-22)$$

$$\nabla^2 \varphi_- = \frac{\partial^2 \varphi_-}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_-}{\partial y^2} = f_-(x, y) \quad (3-23)$$

上式中

$$\begin{aligned} f_-(x, y) = & \frac{3}{2} \frac{g^{1/2}}{r C_f} (\bar{\eta}+h)^{1/2} \left[\frac{\partial(\bar{\eta}+h)}{\partial y} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} - \frac{\partial(\bar{\eta}+h)}{\partial x} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} \right] \\ & + \frac{(\bar{\eta}+h)^{1/2}}{\rho r C_f g^{1/2}} \left[\frac{\partial^2 S_{xy}}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 S_{xy}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S_{xx}}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 S_{yy}}{\partial x \partial y} \right] \\ & + \frac{1}{2 \rho r C_f g^{1/2} (\bar{\eta}+h)^{1/2}} \left\{ \frac{\partial(\bar{\eta}+h)}{\partial y} \left[\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right] \right. \\ & \left. - \frac{\partial(\bar{\eta}+h)}{\partial x} \left[\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right] \right\} \end{aligned} \quad (3-24)$$

同樣的，在淺化區之輸送流函數為 ρ_+ 則

$$\left. \begin{aligned} U_h &= -\frac{\partial \varphi_+}{\partial y} \\ V_h &= \frac{\partial \varphi_+}{\partial x} \end{aligned} \right\} X > X_b(y) \quad (3-25)$$

動量方程式為

$$\frac{\partial \varphi_+}{\partial y} = \frac{gh^2}{C_r U_0} \frac{\partial \bar{\eta}_0}{\partial x} \quad (3-26)$$

$$-\frac{\partial \varphi_+}{\partial x} = \frac{gh^2}{C_r U_0} \frac{\partial \bar{\eta}_0}{\partial y} \quad (3-27)$$

$$\nabla^2 \varphi_+ = f_+(x, y) = - \left[\frac{d}{dx} \left(\frac{gh^2}{C_r U_0} \right) \right] \frac{\partial \bar{\eta}_0}{\partial y} \quad (3-28)$$

在淺化區與碎波區之碎波線上必需滿足連續方程式，即

$$\begin{aligned} [U_1(\bar{\eta}+h)]_{surf} &= [U_1(\bar{\eta}+h)]_{shoal} \cong [U_1 h]_{shoal} \\ \frac{\partial \varphi_-}{\partial x} &= \frac{\partial \varphi_+}{\partial x}, \quad X = X_b(y) \end{aligned} \quad (3-29)$$

$$\frac{\partial \varphi_-}{\partial y} = \frac{\partial \varphi_+}{\partial y}, \quad X = X_b(y) \quad (3-30)$$

$$\varphi_+ = \varphi_-, X = X_b(y) \quad (3-31)$$

(3-23) 及 (3-28) 兩式之流函數可以下列波松方程式 (Poisson Equation) 表示

$$\nabla^2 \varphi = f(x, y) \quad (3-32)$$

上式 $\varphi = \varphi_-, f = f_-$ 當 $X < X_b$ 時

$\varphi = \varphi_+, f = f_+$ 當 $X > X_b$ 時

突堤之邊界條件如圖 3-1，在離突堤上游或下游很遠處，該處流場可以認為不受突堤影響，其流場應與碎波區沿岸流場相同，因此

$$\varphi(x, y) = \varphi_{L.S.}(x), y \rightarrow \pm \infty$$

足碼 L.S. 代表均勻沿岸流。

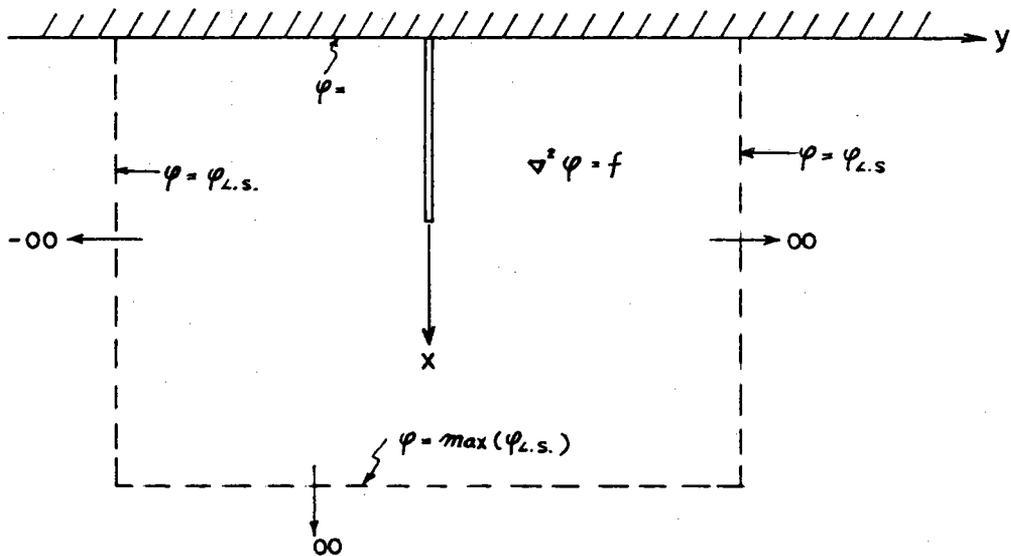


圖 3-1 φ 之邊界條件

在平均海岸線 $X = X_s(y)$ ，僅存切線流速

$$\varphi = 0, X = X_s(y), (\bar{\eta} + h = 0) \quad (3-33)$$

在外海甚遠處，假設沒有水流

$$\varphi = \text{constant} = \max(\varphi_{L.S.}), X \rightarrow \infty \quad (3-34)$$

上式中 "Constant" 必需為沿岸流總流通量 (Total flux)。

數值計算時，採用兩個主要步驟，第一先假設平均水位分佈 $\bar{\eta}(x, y)$ ，計算流函數；第二由所求得之新流函數反算水位 $\bar{\eta}$ 。重複上述步驟，當 φ 及 $\bar{\eta}$ 計算值不因疊代而改變時，停止計算。

(二) 計算實例

1. 突堤：

突堤為垂直斷面，全反射長度 400 m 設於 $y = 0$ ， $X \leq 400\text{ m}$ 處。海岸斷面為 $X \leq 100\text{ m}$ ，海底坡度為 $1/10$ ； $X > 100\text{ m}$ ，海底坡度為 $1/100$ 。外海波浪入射角 $\theta_\infty = 45^\circ$ ，振幅 $a_\infty = 0.5\text{ m}$ ，週期 $T = 10\text{ sec}$ 。經淺化，折射後在 $X = 400\text{ m}$ 處之波高，波長分別為 $a = 0.3624\text{ m}$ ， $L = 103.003\text{ m}$ ，碎波距離 $X_b = 17.812\text{ m}$ 。

2. 離岸堤：

離岸堤為垂直斷面，全反射，長度 700 m ，設置於 $X = 350\text{ m}$ ， $-350\text{ m} \leq y \leq 350\text{ m}$ 處，海岸底床坡度為 $1/50$ 。外海波浪入射角分別為 $\theta_\infty = 0^\circ$ 及 60° ，振幅 $a_\infty = 0.5\text{ m}$ ，週期 $T = 10\text{ sec}$ 。波浪經淺化折射後在 $X = 350\text{ m}$ 處，波浪分別為

$\theta_\infty = 0^\circ$ 時， $a = 0.5212\text{ m}$ ， $L = 78.964\text{ m}$ ， $X_b = 86.111\text{ m}$

$\theta_\infty = 60^\circ$ 時 $a = 0.3767\text{ m}$ ， $L = 78.964\text{ m}$ ， $X_b = 65.260\text{ m}$ 。

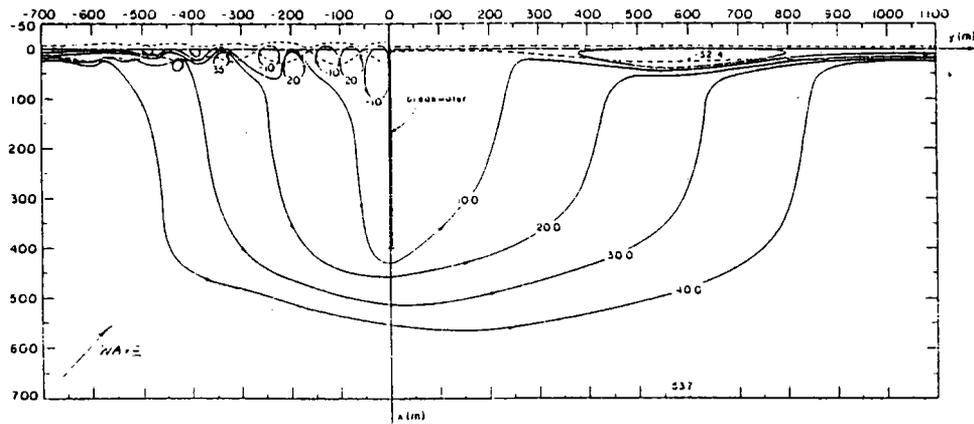


圖 3 - 2 (a) 突堤流線形狀 $C_r = 0.01$

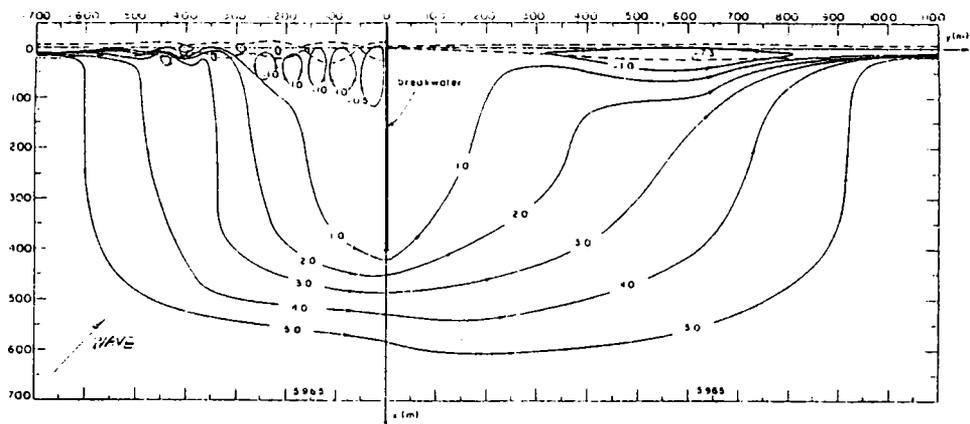


圖 3 - 2 (b) 突堤流線形狀 $C_r = 0.09$

(三)計算結果：

1.突堤

海岸設置突堤計算結果流線 (Stream Line) 及部份放大情形如圖 3-2 及 3-3，由圖 3-2 及 3-3 顯示，受突堤影響流線向外海移，而在上波區流線形成封閉漩流圈，其間距約略與碎波線波動一致。兩相鄰漩流圈在碎波區最狹窄處改變流向。下波區水流大致沿防波堤或海岸線前進，碎波處附近流速最大。沿 X 軸在 400^m 至 800^m 處形成一個較大之反時針方向水流。

平均海水位計算結果如圖 3-4，下波區防波堤附近水位受到極輕微之擾動；碎波線附近水位最低。當流況分佈接近沿岸流時，等 η 線逐漸與海岸線平行。上波區平均海水位，取 $y = \text{常數}$ 經過波浪振幅最小處。(即碎波區最窄處)，平均海水位變化最小；若 $y = \text{常數}$ 取在振幅最大處(碎波區最寬處)，則在淺化區 η 最低，而在碎波區 η 最高，海底摩擦係數 C_r 變化直接影響水流強弱，流速約略與 C_r 值成反比，但對平均水位影響不顯著。

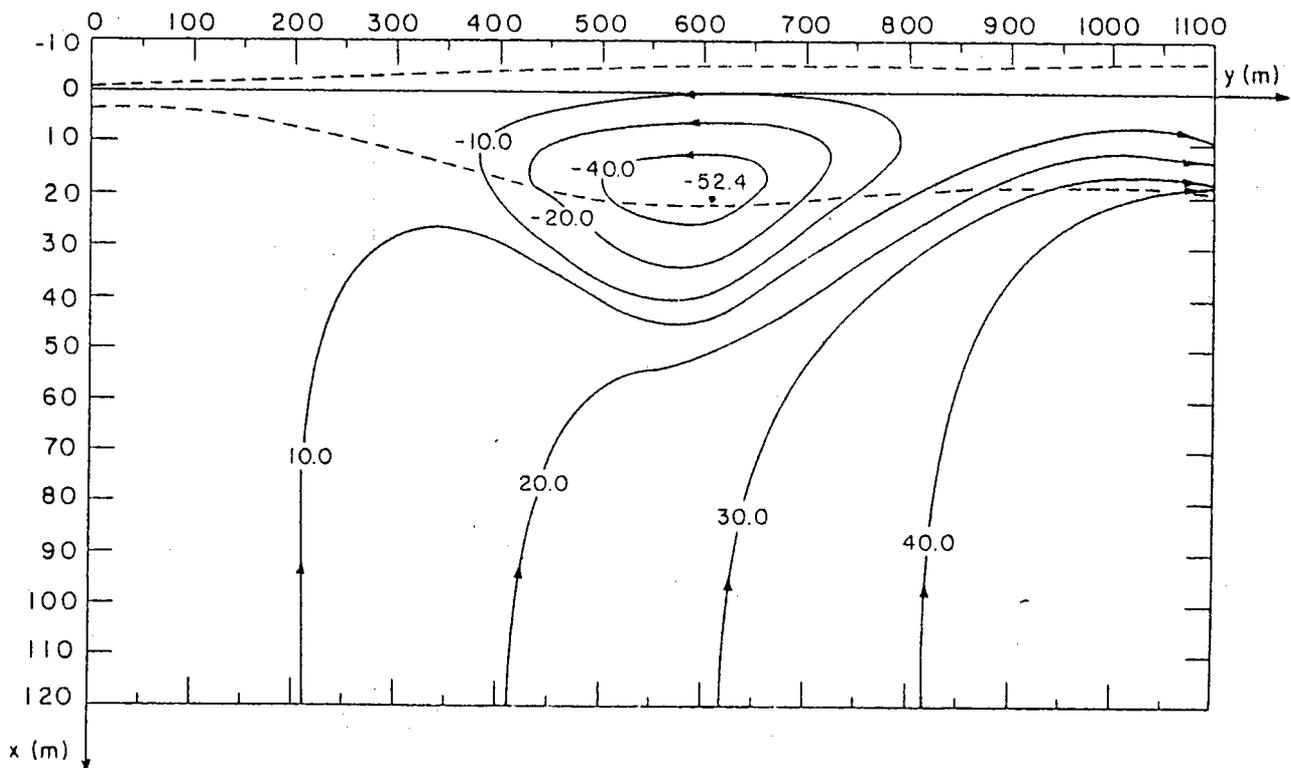


圖 3-3 (a) 突堤下波區流線放大圖 $C_r = 0.01$

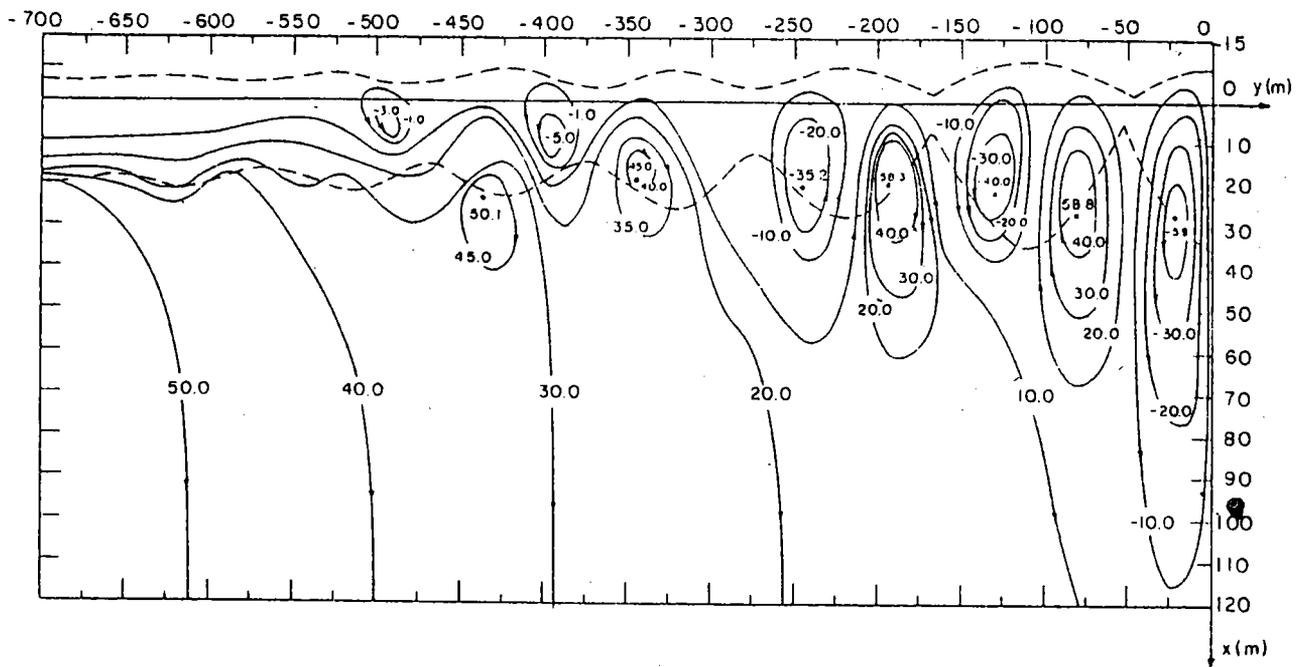


圖 3-3(b) 突堤上波區流線放大圖 $C_r = 0.01$

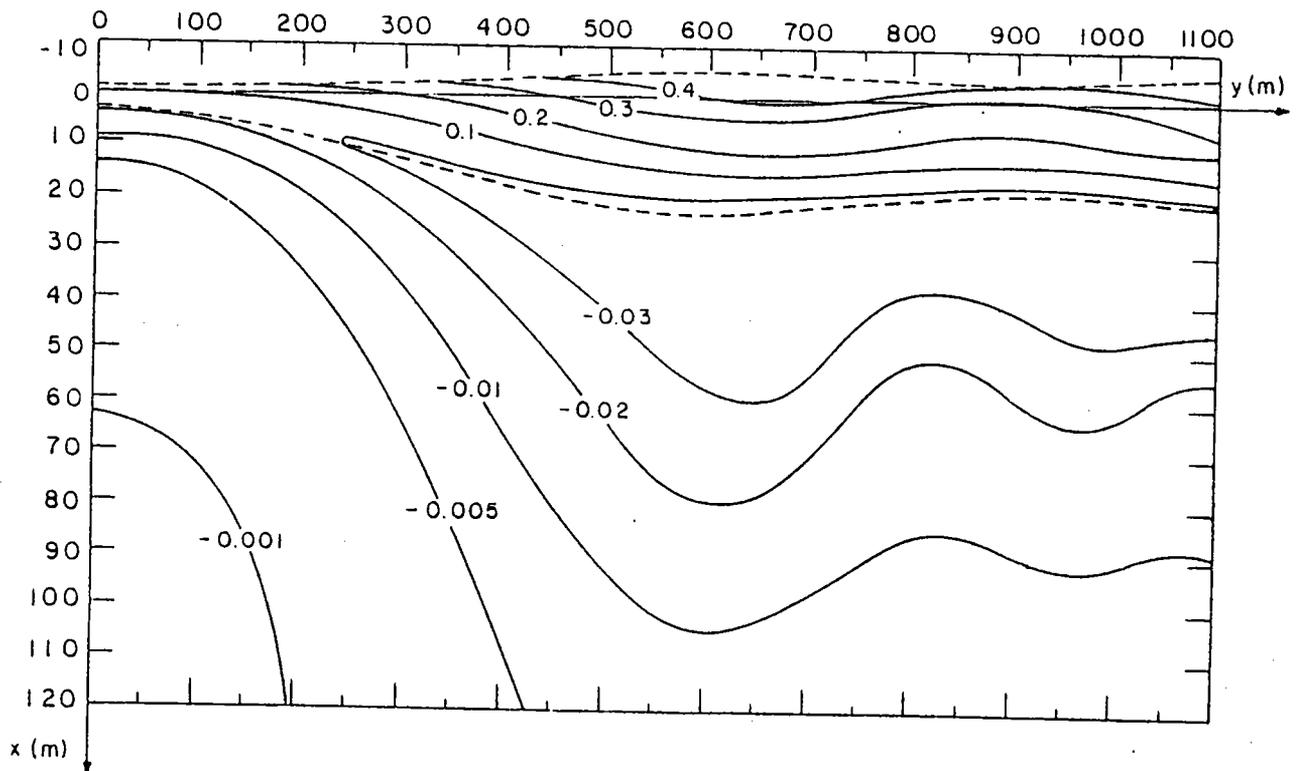


圖 3-4(a) 突堤下波區水位變化 $C_r = 0.01$

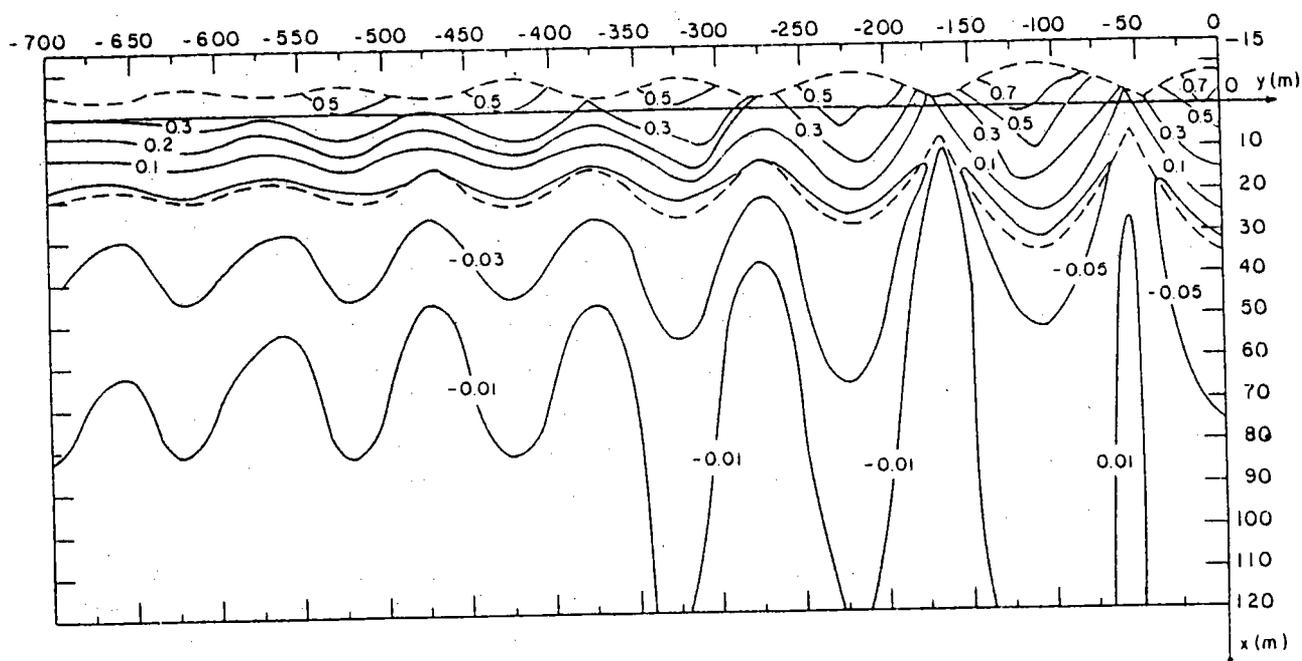


圖 3-4(b) 突堤上波區水位變化 $C_r = 0.01$

2. 離岸堤：

入射波垂直離岸堤，受防波堤遮蔽後流線及水位線成對稱分佈如圖 3-5 及 3-6。由流線分佈顯示，距防波堤端點較遠處不產生沿岸流；而防波堤後側流線形成兩個對稱漩流圈。近岸處水流流向防波堤平分線，沿 X 軸呈現海向激流（Rip Current），在離岸堤陸側分裂。平均水位線在 X 軸上無變化。隨 y 增大而有顯著變化。經過流線最小處 φ 值沿 X 軸向變化如圖 3-7。接近 $X = 350^m$ 處， φ 值趨於“0”。由此可知防波堤岸端流速甚小，雖可能產生小渦漩，但其強度極弱。

斜向波浪入射時，外海 $\theta_\infty = 60^\circ$ ，計算結果流線分佈如圖 3-8。遠離防波堤處形成均勻沿岸流。受沿岸流影響，防波堤兩端之漩流圈差異極大。上游渦漩流速因沿岸流使岸邊流速加強，而海側流速減弱。下游渦漩則因流向相反使渦漩強度減弱。三個平行 X 軸之剖面 φ 值變化如圖 3-9，當 X 值接近 350^m 時， φ 值不隨 X 變化。平均水位變化如圖 3-10。

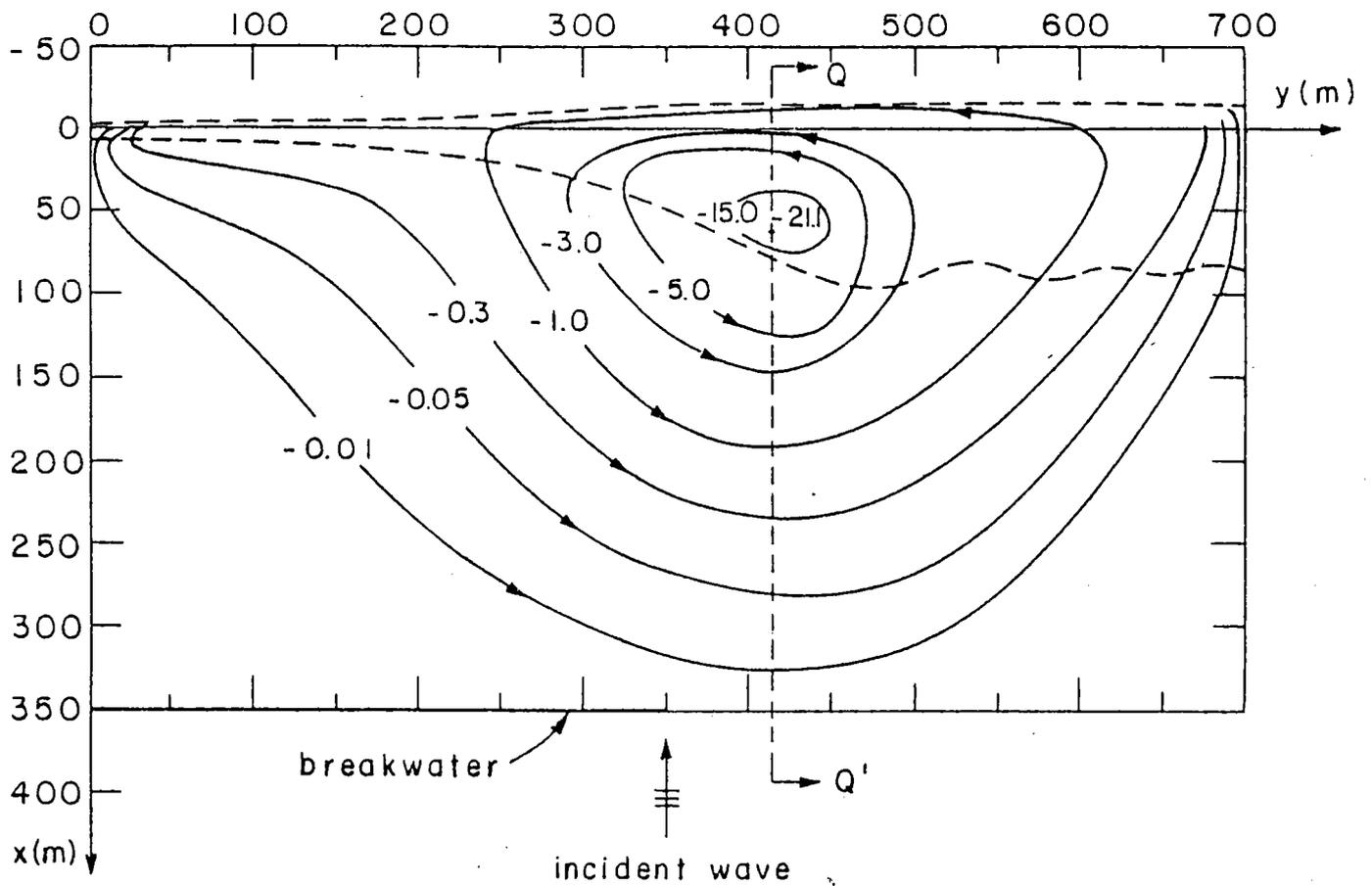


圖 3-5 離岸堤流線形狀 $\theta_{\infty} = 0^{\circ}$, $C_r = 0.01$

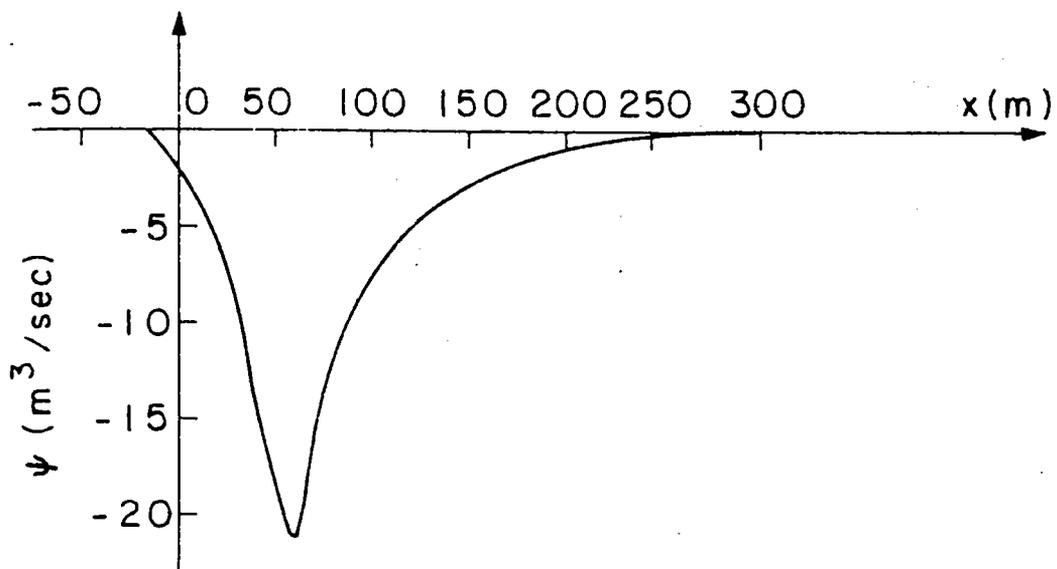


圖 3-7 Q~Q' 剖面 ψ 值變化

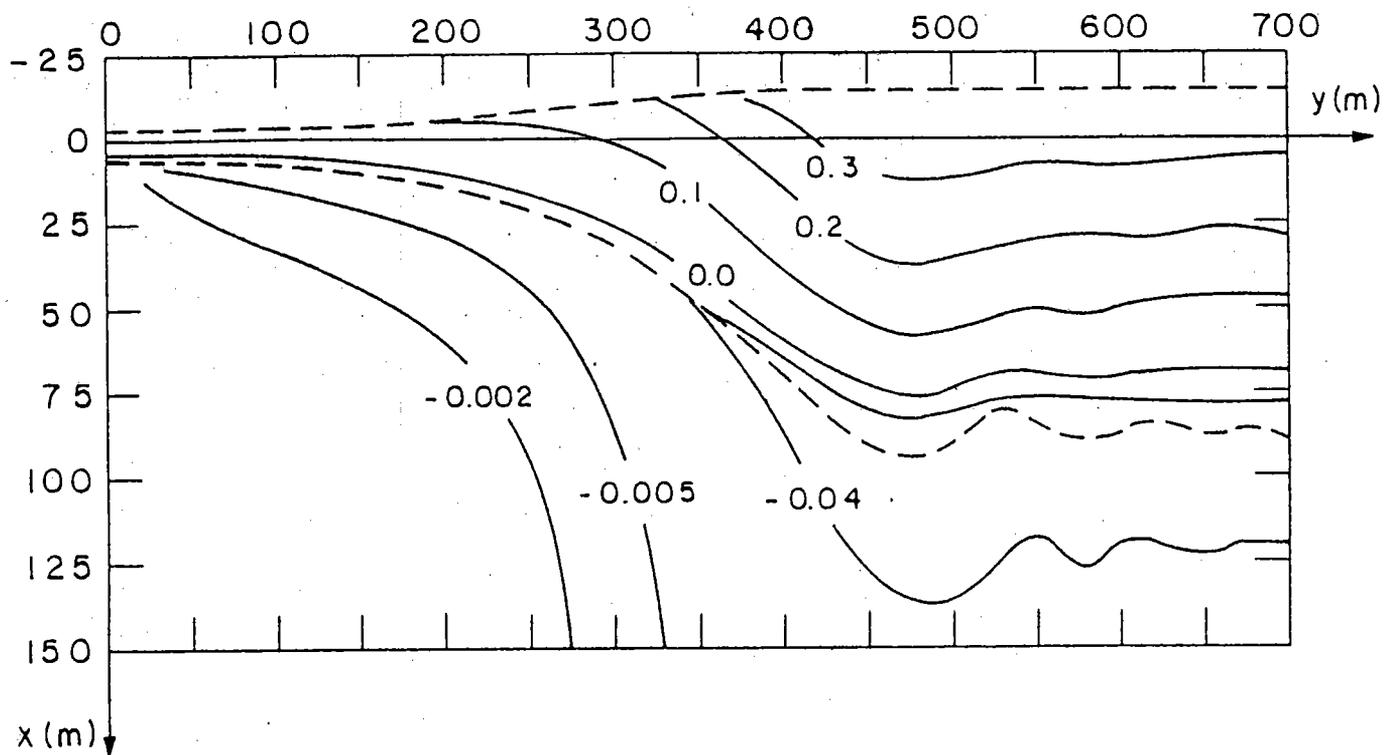


圖 3-6(a) 離岸堤平均水位線 $\theta_{\infty} = 0^{\circ}$, $C_r = 0.01$

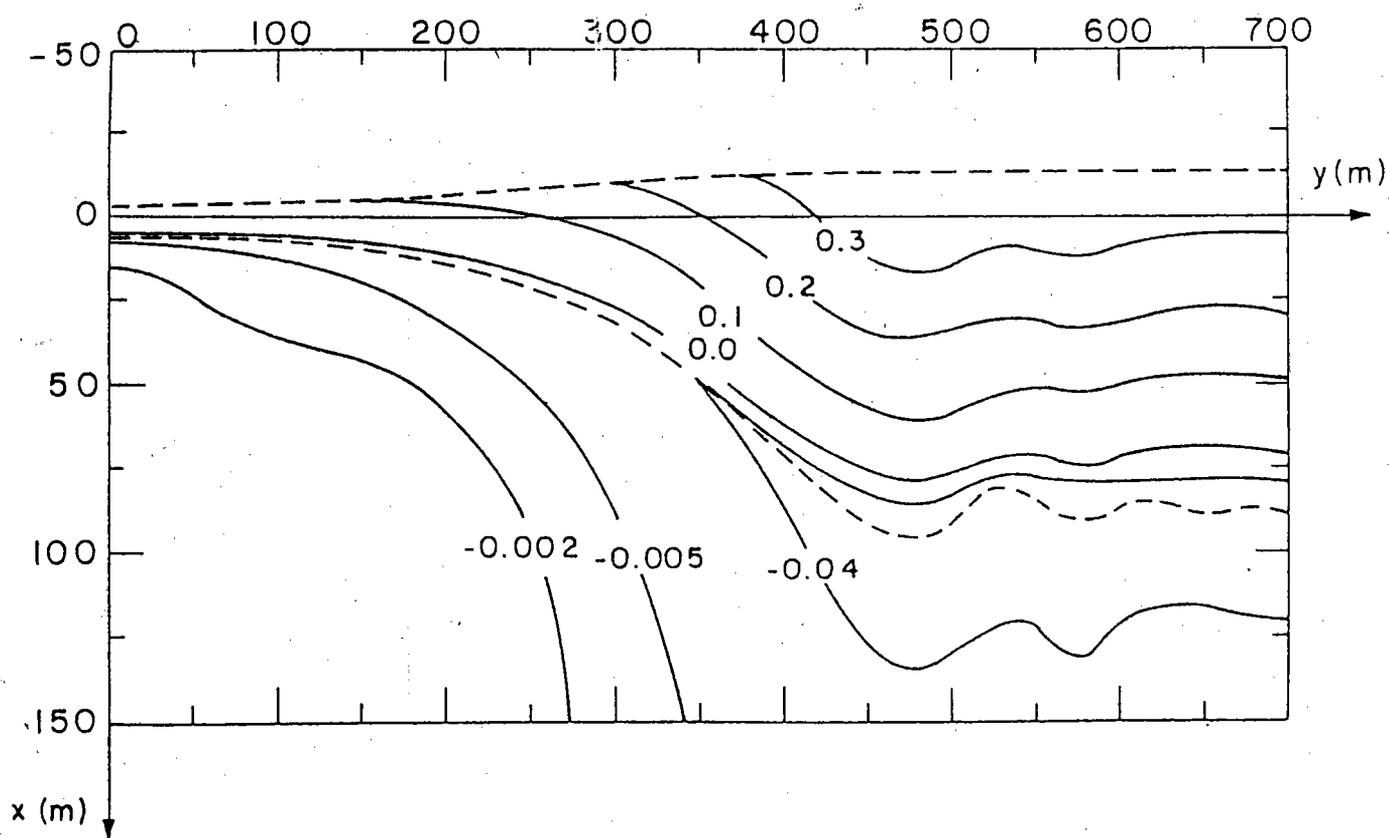


圖 3-6 (b) 離岸堤平均水位線 $\theta_{\infty} = 0^{\circ}$, $C_r = 0.09$

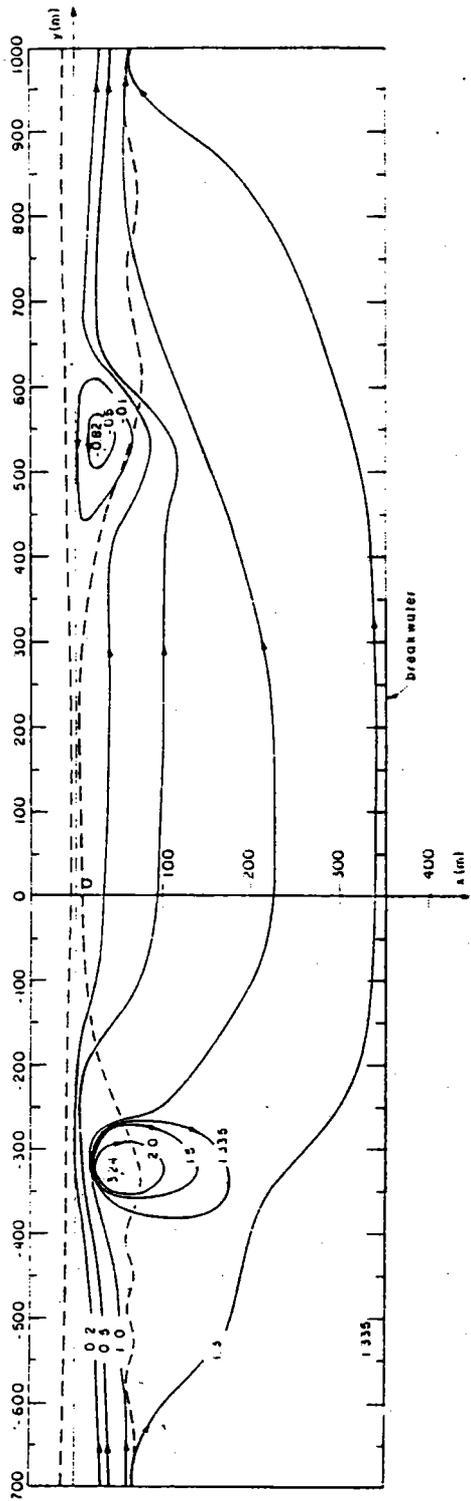


圖 3-8(a) 離岸堤流線形狀 $\theta_{\infty} = 60^{\circ}$, $C_r = 0.09$

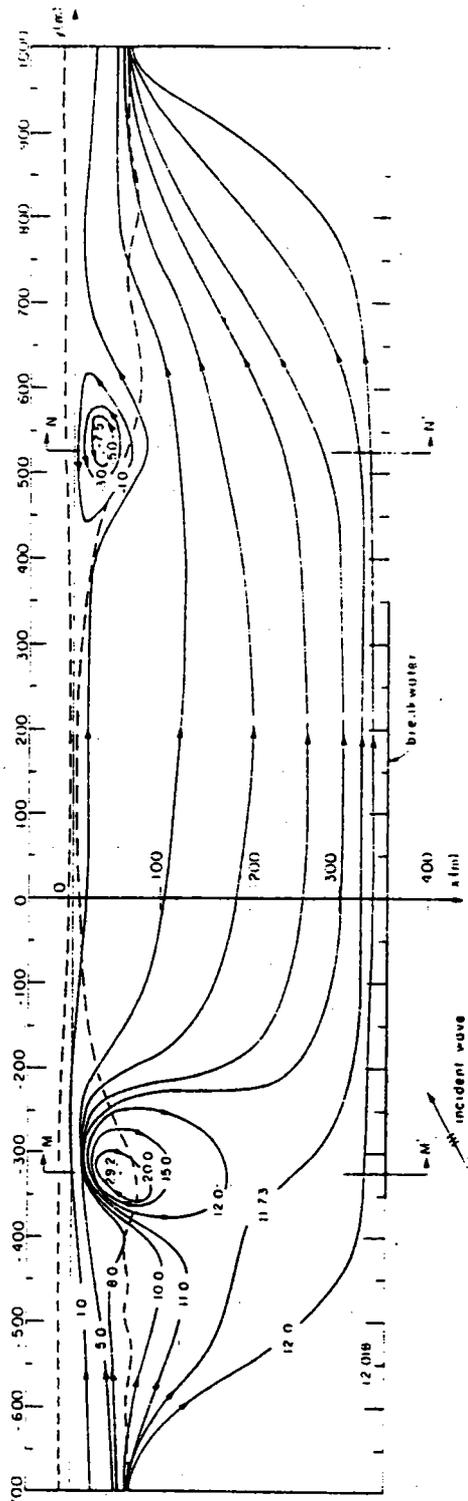


圖 3-8(b) 離岸堤流線形狀 $\theta_{\infty} = 60^{\circ}$, $C_r = 0.01$

四、海岸漂沙

(一)概述

沙石海灘地形，經常受波浪、潮汐、水流及風等外力作用而改變，由於波浪及水流等主要外力變化不定，而且海灘底質成份複雜，海岸形狀變化不易掌握。數小時的暴風巨浪作用下可能完全改變海灘原貌，再由常態風浪經過漫長之時間逐漸回復原形。但是，如果在海岸上營建巨大構造物，則將破壞海岸平衡，使海灘形狀發生更大的改變。由於影響海岸變化因素極為複雜，且現場調查非常困難，重要資料不易取得，水工模型試驗受模型縮尺限制，無法重現原型水力現象。凡此種種使人類對海岸變化過程，變化形態與作用外力關係等有關知識至今仍非常貧乏。

海岸漂沙 (Sand drift) 係指受波浪、潮汐及水流作用引起之海灘物質移動現象，通常不含因風而產生之海灘飛沙。海岸漂沙可分為向離岸漂沙 (On-off shore drift) 及沿岸漂沙 (Alongshore drift) 兩種。其中向離岸漂沙屬於短期性變化，主要決定於波浪特性，如波高、週期，及海岸坡度、底質等。沿岸漂沙為造成海岸侵蝕或淤積，改變海岸外貌之主要因素。

(二)漂沙移動力學

波浪進入淺海時，海底逐漸感受水分子運動及壓力梯度，臨近底床之流速逐漸增加，當最大瞬時剪應力大於底床較突出之沙粒抵抗力時，沙粒開始移動稱為為起始運動 (Initial Motion)，流力繼續增大而產生全面運動。其運動過程如圖 4-1。

(三)漂沙量估計

漂沙量估計在海岸工程規劃上極為重要，但又非常困難。實際海岸地形變化與外力關係極為複雜，觀測資料不易取得；而模型試驗又未能解決相似性問題，無法辦理漂沙定量試驗。因此海岸漂沙量只能應用經驗公式予以概估，再辦理水工模型試驗驗證。

漂沙量估算公式因地而異，採用不同之公式，估算結果差異非常大，因此應用任何公式必需格外小心。漂沙量計算可分為向離岸漂沙量與沿岸漂沙量兩種。

1. 向離岸漂沙量

(1) Manohar 公式

$$q_s = 1.41 \frac{(U_b)_{\max}}{S^{0.4} g^{0.4} \nu^{0.2} D^{0.2}} \quad (4-1)$$

式中 q_s 為單位時間單位寬度之輸沙量 ($m^3 / \text{see} / m$)

$(U_b)_{\max}$ 為底床水分子最大速度 (cm / sec)

D 為沙之粒徑 (cm)

S 為土沙在水中之比重，沙粒為 1.65

ν 為水之動滯度係數 (20°C 時, $\nu = 0.01 \text{ cm}^2 / \text{sec}$)

(2) Eagleson 公式

$$q_s = nD^3 \left\{ \frac{204C}{T^{4/7} L^2 \sinh^2 \frac{2\pi d}{L}} H^2 D^{-7/6} - 7.92 \sin \alpha \times 10^{-3} \right\} \quad (4-2)$$

式中 q_s, D 與上式相同, n 為孔隙率, α 為海底坡度

H, L, C, T 分別為波高、波長、波速及週期

2. 沿岸漂沙量

(1) Caldwell 公式

美國陸軍工程師團海灘防蝕局 (BEB) 在加州 Anaheim 灣突堤周圍所測得侵蝕量及在佛羅里達州排沙溝所測得資料, 經 Caldwell 推導所得公式, 適合應用於最大波高 1.5 m, 底質粒徑 0.2 ~ 0.6 mm。

$$Q = 0.0048 E_1^{0.8} \quad (4-3)$$

式中 $E_1 = \frac{da}{\sum} e_1 = \sum \frac{a \gamma_w}{8T} LH^2 \times 7200 \times \sin \alpha \cos \alpha$

Q 為沿岸漂沙量 (m^3 / day)

e_1 為每隔兩小時所求得單位時間單位寬度之輸送能量 ($kg \cdot m / m \cdot \text{sec}$)

a 為群波速度與相位速度之比

γ_w 為海水單位體積重量

H, L, T 及 α 分別為波高、波長、週期及波浪入射角

(2) Savage 公式

$$Q = 0.000217 E_1 \quad (4-4)$$

上式中 Q 及 E_1 與 (4-3) 式相同，適用於海底坡度 $1/50 \sim 1/100$ ，粒徑 $0.1 \sim 0.4^{\text{mm}}$ 。

(3) SPM 公式

根據微小振幅波理論，單位寬度波峰線之能通量 (Energy flux) 爲 $\bar{P} = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g$ 。假設波浪斜向入射角爲 α ，則海岸線單位寬度之能通量爲

$$\bar{P} \cos \alpha = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g \cos \alpha \quad (4-5)$$

沿岸方向分量爲

$$\begin{aligned} P_2 &= \bar{P} \cos \alpha \sin \alpha = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g \cos \alpha \sin \alpha \\ &= \frac{1}{16} \rho g H^2 C_g \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (4-6)$$

碎波區 $C_g \approx C$

$$\begin{aligned} P_2 s &= \frac{1}{16} \rho g H^2 C \sin 2\alpha \\ &= \frac{\rho g^2}{64 \pi} T (H_0 K_r)^2 \sin \alpha \end{aligned} \quad (4-7)$$

式中 $P_2 s$ 爲碎波區沿岸能通量，ft-lbs/sec/ft

K_r 爲折射係數

根據試驗及現場調查資料，沿岸漂沙量與能通量關係爲

$$Q = (7.5 \times 10^3) P_2 s \quad (4-8)$$

式中 Q 爲沿岸漂沙量 $yd^3/year$

四海岸構造物附近地形變化

海岸興建構造物破壞原有平衡條件，構造物上游區 (Up-stream region) 產生堆積，下游區 (Down-stream region) 則發生侵蝕現象。但有時構造物上游側因受巨大波浪侵襲反而造成沖刷，而堤後能量減弱形成堆積情形，故侵蝕與堆積之起因及後果並不單純，規劃設計時必需審慎辦理調查研究。茲舉數例以供參考。

圖 4-2 爲離岸堤或島所造成之海岸沙洲 (Tombolo)。圖 4-3 分別爲突堤及突堤群所造成之海岸堆積與沖刷現象。圖 4-4 爲突堤可能形成之激流 (

Rip Current)。圖 4-5 為突堤群有效配置方法。

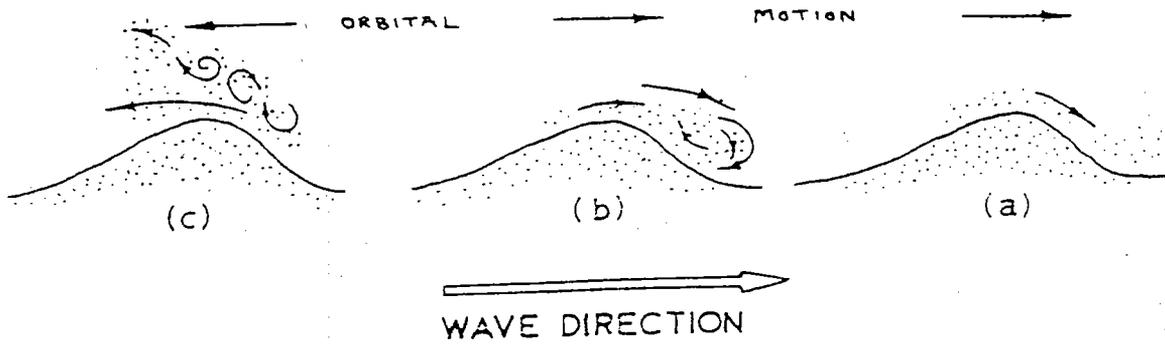


FIGURE 2.3 (after Scott) The mechanism of ripple migration

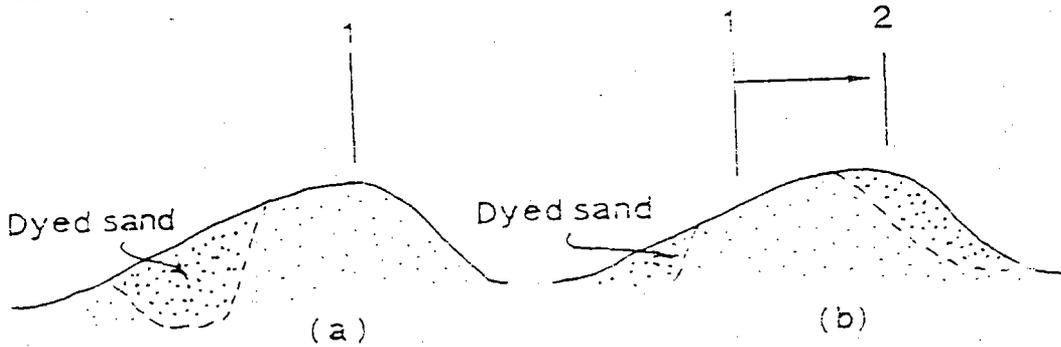


圖 4-1 海灘沙連移動過程

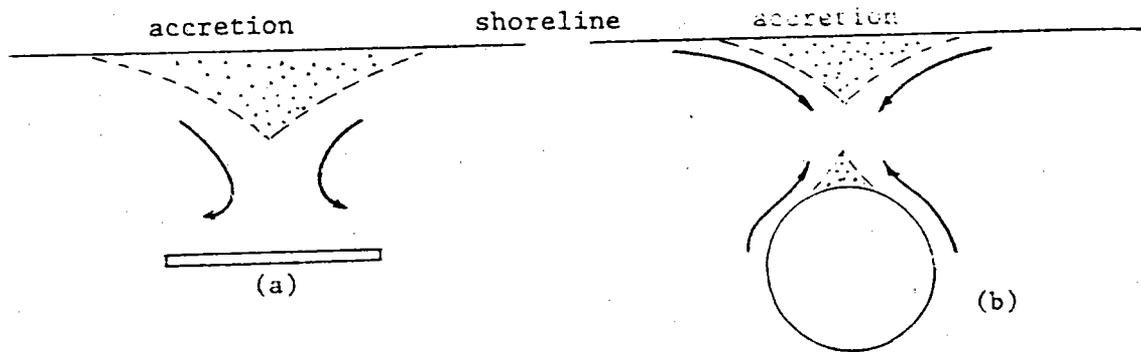


圖 4-2 離岸堤或島造成海岸沙洲

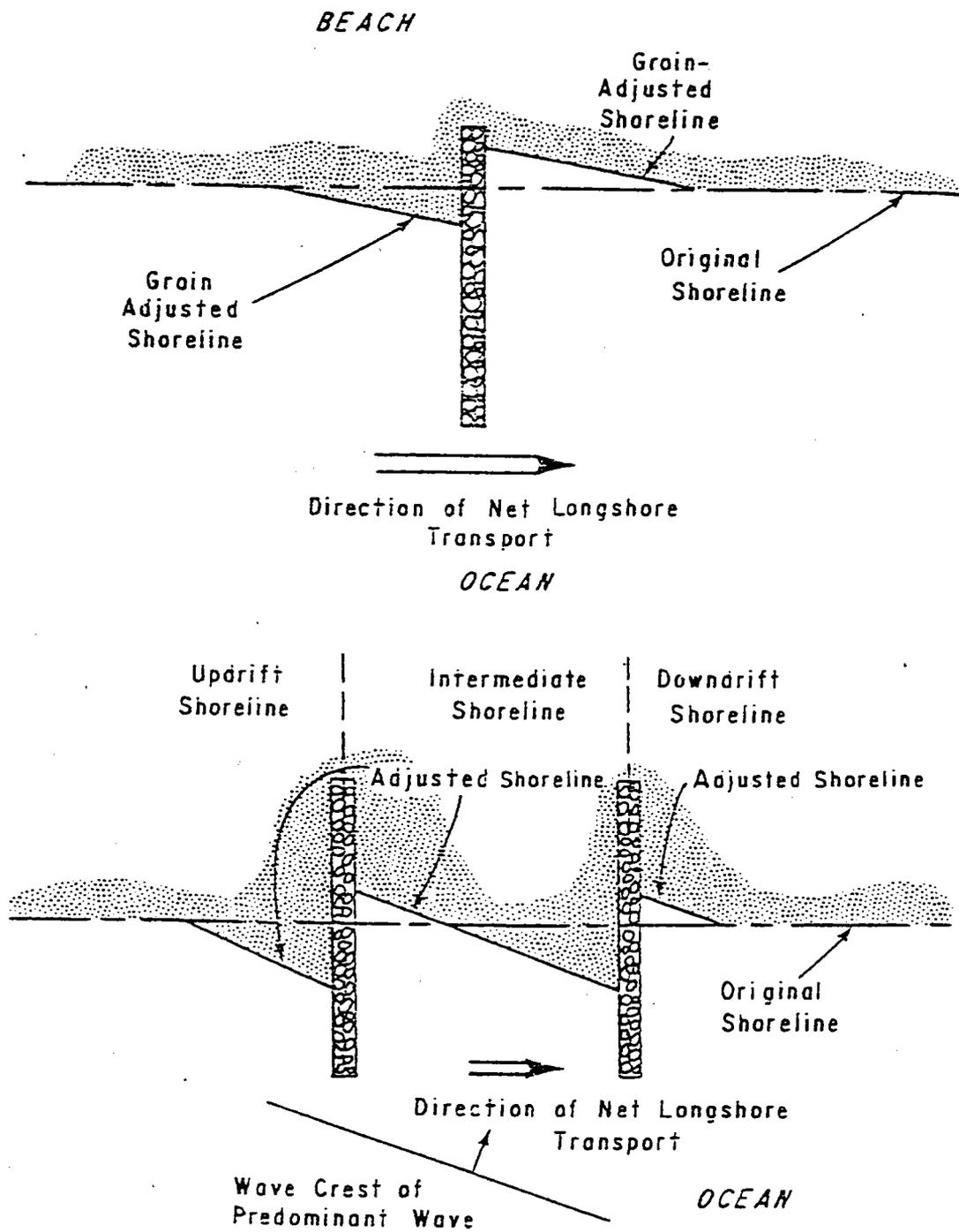
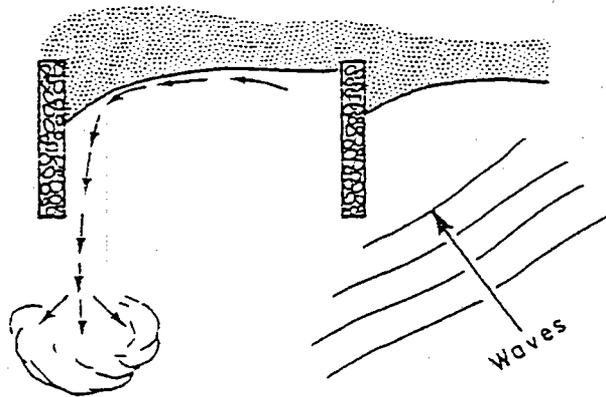
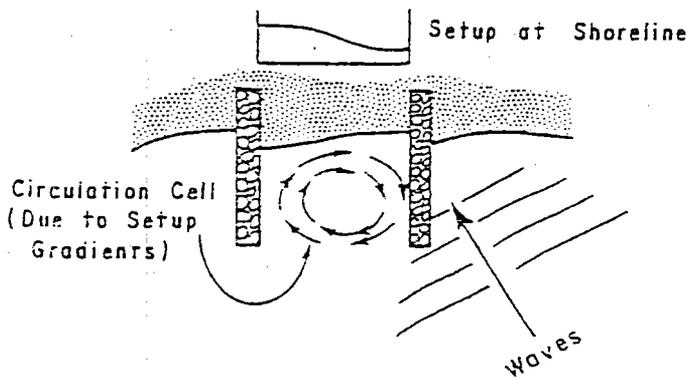


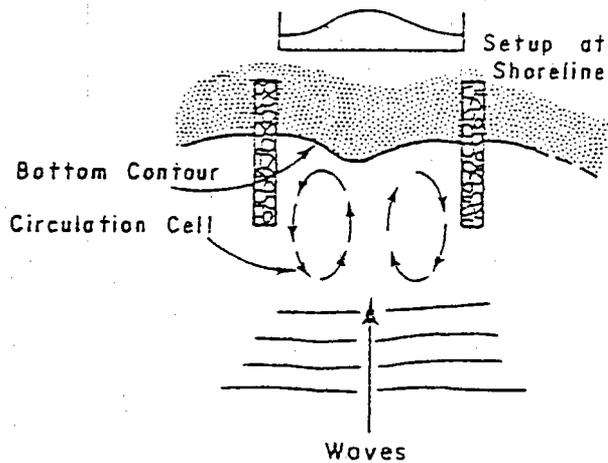
圖 4-3 單突堤及雙突堤冲刷、堆積趨勢



a. Rip current formation due to channeling of longshore current.



b. Circulation within a groin compartment due to variation in longshore setup.



c. Circulation cell within a groin compartment due to energy dissipation at the groins and variable setup.

圖 4-4 突堤可能造成之激流或環流

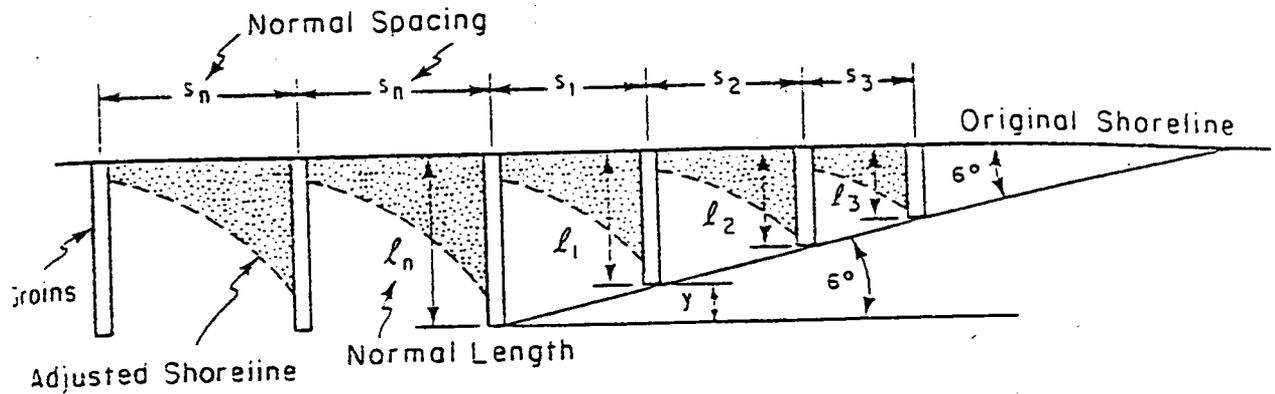


圖 4-5 突堤群有效之配置方法

五、結 論

(一) 海岸水力環境非常複雜，規劃設計海岸構造物應辦理下列調查、研究。

1. 海象、氣象資料調查、分析研究，以瞭解沿岸波浪、水流、潮汐及風速等特性。
2. 數值模擬：根據調查資料模擬各種不同佈置海岸構造物可能產生之水力環境變化，作為選案依據。
3. 模型試驗：數值模擬必須經過簡化與假設，有時無法表現原型水力現象，辦理水工模型試驗以驗證數值模擬所得結果。

(二) 海洋污染可能是垃圾填海最難解決的問題之一。如何有效防止垃圾填海產生之污水滲流及污水如何放流應在規劃時作深入研究。

(三) 垃圾填海如果能配合港灣建設，工業區開發等併案辦理，則更容易達成，且可收事半功倍之效果。

六、參考資料

1. Philip L-F. Liu, C.C. Mei, Effect of a Breakwater on Near-shore Currents due to Breaking Waves, Report No. 192, Ralph M. Parsons Laboratory, MIT.
2. C.C. Mei, Philip L-F, Liu, Mass Transport in Water Waves, Report No. 146, Ralph M. Parsons Laboratory, MIT.
3. CERC., Shore Protection Manual, U.S. Army Corps of Engineers, 1984.
4. IB A. Svendsen and IVAR G. Jonsson, Hydrodynamics of Coastal Regions, Technical University of Denmark, 1980.
5. 台灣省交通處，海岸構造物設計基準，1980。